

Моделирование и анализ эффективности государственного регулирования производственного сектора

© 2010 Н.Н. Скитер

кандидат экономических наук, доцент

© 2010 А.Ф. Рогачев

Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия

E-mail: skumer@mail.ru

В статье рассмотрены экономические механизмы, снижающие давление производственного сектора на окружающую среду. Предложена модель, позволяющая проанализировать налоговую политику правительства, направленную на снижение отрицательных воздействий, связанных с загрязнением окружающей среды национальными и транснациональными фирмами.

Ключевые слова: производственный сектор, государственное регулирование, эффективность.

Негативное влияние глобализации экономики, в том числе загрязнения окружающей среды в результате производственной деятельности, представляет собой серьезную эколого-экономическую проблему. С точки зрения двух субъектов собственности - общества и предпринимателя, экономические интересы различны: общество заинтересовано уменьшить ущерб от загрязнения, а предприниматель - природоохранные издержки, которые отражаются на основных экономических показателях производства. Государство решает проблему отрицательных внешних эффектов производственной деятельности либо командно-контрольными методами (область применения которых весьма ограничена), либо применением рыночно ориентированной политики, которая состоит во введении налоговых платежей за выбросы загрязняющих веществ и развитии рынка разрешений на загрязнение. Оба инструмента регулирования выполняют две функции: сокращают выбросы загрязняющих веществ и стимулируют инвестиции в разработку более экологически чистой технологии.

Обозначаем через c издержки производства в расчете на единицу продукции, $X(P)$ функцию спроса (P - цена, а X - совокупный выпуск). При существующей технологии, которая свободно доступна всем предприятиям отрасли, каждая единица выпущенной продукции сопровождается выделением вредных выбросов на уровне e_1 . Имеется одна фирма-инноватор, которая инвестирует в создание новой более экологически чистой технологии. Инновация не приводит к изменению затрат на производство единицы продукции c , однако сокращает вредные выбросы до уровня e_2 . Издержки создания новой технологии составляют $C(b)$. Фирма-инноватор получает патент, и имитация не допускается. Патентообладатель может либо лицензировать

новую технологию, установив лицензионный платеж, либо непосредственно заняться производством. В последнем случае предполагаем, что на отраслевом рынке имеет место конкуренция Бертрана, а инноватор устанавливает сдерживающие цены.

В нашей работе¹ построена модель разработки инноваций, направленных на снижение вредных производственных выбросов. Решена задача оптимизации уровня производства, выбросов загрязняющих веществ и объема технологических инноваций (направленных на снижение издержек сокращения выбросов загрязняющих веществ) с точки зрения максимизации общественного благосостояния. Настоящая статья посвящена исследованию децентрализованного рыночного варианта, построенного в предыдущей модели. Проводится сравнение эффективности таких инструментов регулирования выбросов загрязняющих веществ, как налоги и продаваемые разрешения на выбросы.

Сначала сравним выигрыш от разработки инновации, соответствующий общественному оптимуму, с выигрышем при введении налога на предприятия, допускающие выбросы загрязняющих веществ. Предположим сначала, что новая технология не разработана. Издержки в расчете на одну производственную фирму составляют (все обозначения соответствуют)²:

$$C_1^t = c + a\Delta e_1^2/2 + h(1 - \Delta e_1), \quad (1)$$

т.е. сумму производственных затрат, издержек сокращения ущерба окружающей среде и налога, уплачиваемого за оставшиеся выбросы (индекс t относится к величинам при условии применения налога на выбросы загрязняющих веществ).

¹ Скитер Н.Н. Моделирование влияния инструментов регулирования вредных выбросов на инвестиции в инновационные технологии // КИЭП / Механизмы эффективного управления в рыночной экономике: материалы междунар. науч.-практ. конф. Кисловодск, 2004.

² Там же.

Фирмы выбирают Δe , минимизирующие

Поэтому $C_1^t = S_1^*$, т.е. частные издержки в расчете на фирму равны общественным издержкам в расчете на фирму.

Производственные фирмы входят в рынок до тех пор, пока цена не достигает C_1^t , и поэтому устанавливается общественно эффективный уровень производства X_1^* (см. рисунок).

общественно оптимальное количество выбросов в расчете на фирму и

$$C_2^t = S_2^* + f. \quad (3)$$

Условие (3) означает, что частные издержки превосходят общественные издержки в расчете на фирму на величину лицензионного платежа. Однако если предположить, что только часть фирм может потенциально использовать новую технологию или ее имитацию ($\theta < 1$), то равновесная цена товара определяется частными из-

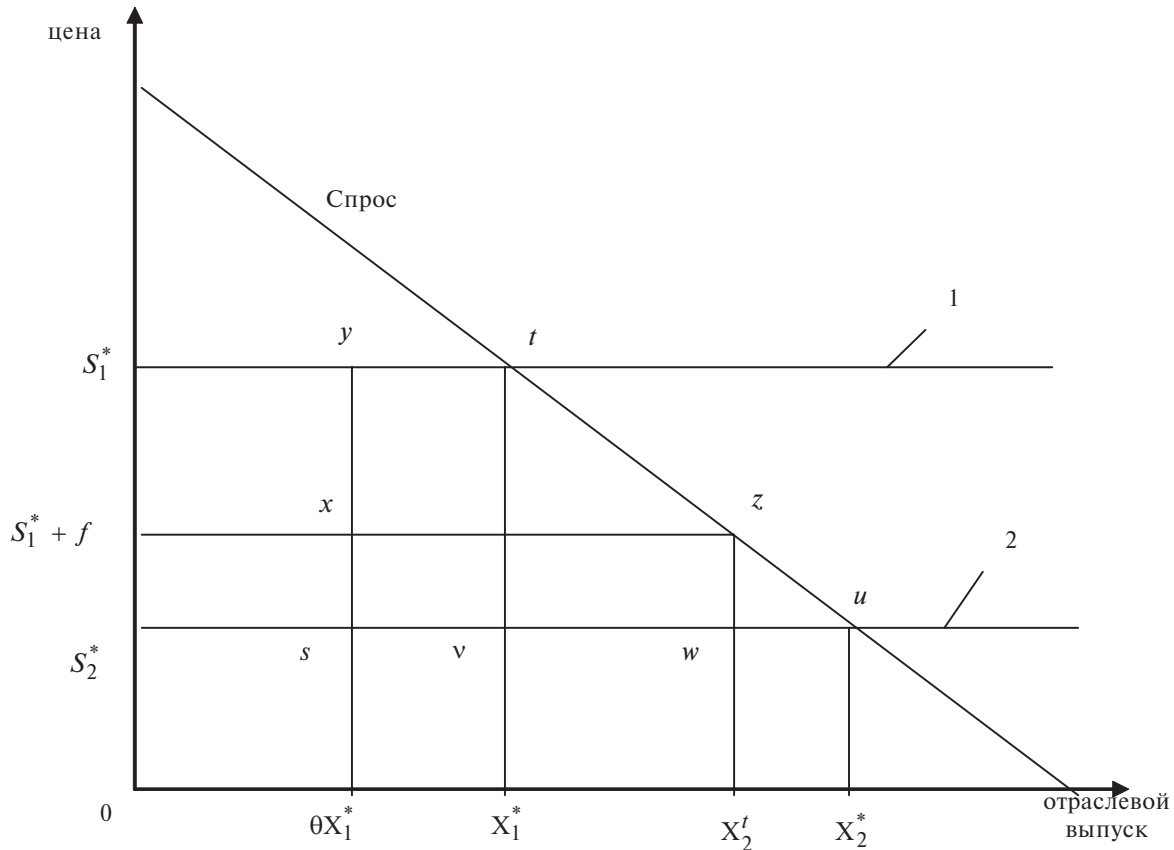


Рис. Оптимальный отраслевой выпуск:

- 1 - предельные издержки производства продукции при старой технологии;
- 2 - предельные издержки производства продукции при новой технологии.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда разработана новая технология. Если патентообладатель устанавливает платеж f за лицензирование новой технологии, частные издержки производственной фирмы, использующей новую технологию, составляют

$$C_2^t = c + (1 - r)a\Delta e_2^2/2 + h(1 - \Delta e_2) + f. \quad (2)$$

Минимизация выражения (2) относительно Δe_2 дает условие (2)³. Поэтому устанавливается

³ Здесь и далее (с пометкой "из указ. соч.") условия взяты из работы: *Скутер Н.Н. Указ. соч.*

держками фирм, которые не в состоянии использовать новую технологию. Их издержки остаются на уровне S_1^* , и равновесный выпуск соответствует общественно оптимальному уровню X_1^* на рисунке. Итак, получаем следующее утверждение. При $\theta < 1$ налог на предприятия, допускающие выбросы загрязняющих веществ, индуцирует уровень производства, соответствующий общественному оптимуму, и сокращение вредных выбросов, соответствующее появлению инновационной технологии.

Общественная выгода от разработки инновации в данном случае равна выигрышу первого порядка (8) из указ. соч.:

$$\Delta B^t = \Delta B^* \quad (4)$$

При выборе лицензионного платежа держатель патента подвергается следующему ограничению. Частные издержки производственных фирм при производстве по лицензированной технологии не должны превосходить издержки при производстве с использованием имитации инновационной технологии; в противном случае не будет спроса на новую технологию и прибыль патентообладателя будет равна нулю. Если производственная фирма использует имитацию инновационной технологии, ее частные издержки составят:

$$C_2^{t,I} = c + (1 - \mu r) a \Delta e_2^2 / 2 + h(1 - \Delta e_2).$$

Минимизируя данное выражение относительно Δe_2 и используя соотношение (2) из указ. соч., получаем:

$$C_2^{t,I} = c + h \left\{ 1 - \frac{\Delta e_1^*}{2(1 - \mu r)} \right\}.$$

Приравнявая данное выражение к C_2^t и используя соотношения (3), а также (5) и (6) из указ. соч., получаем максимальный платеж, который может быть назначен фирмой-инноватором

$$\bar{f}^t = \frac{h \Delta e_1^*}{2} \frac{(1 - \mu)r}{(1 - \mu r)(1 - r)}. \quad (5)$$

Сейчас рассмотрим ситуацию, когда все производственные фирмы могут внедрить новую технологию, т.е. $\theta = 1$. Выпуск в случае открытия новой технологии в такой ситуации является эндогенным, поскольку частные издержки производственных фирм определяются соотношением (3), которое зависит от лицензионного платежа. Аналогично уравнению (9) из указ. соч. выпуск в случае открытия новой технологии составит:

$$X_2^t(f) = X_1^* - (S_1^* - S_2^* - f) \frac{dX}{dP}. \quad (6)$$

Патентообладатель устанавливает платеж f , максимизирующий прибыль $F^t = fX_2^t(f)$ при ограничении (5). Нетрудно проверить, что соотношение (5) реализуется при условии

$$\frac{1 - \frac{\Delta e_1^*}{2}}{\Delta e_1^*} > \frac{1 - \mu}{1 - \mu r} \frac{r\eta}{1 - r}. \quad (7)$$

Условие (7) получено путем вычисления значения f , являющегося решением задачи безусловной максимизации дохода патентообладателя, и далее - установления условия, при котором это значение превосходит \bar{f}^t в уравнении (5). Условие (7) выполняется для значений параметров, рассматриваемых ниже при численном анализе. Снижение лицензионного платежа ниже \bar{f}^t всегда снижает прибыль патентообладателя. Подставляя выражения (3), (7), (13) из указ. соч. и соотношение (5) в выражение (7), получаем выпуск в виде

$$X_2^t = X_1^t \left\{ 1 + \frac{\mu r \eta \Delta e_1^*}{(2 - \Delta e_1^*)(1 - \mu r)} \right\}. \quad (8)$$

Сравнивая выражения (9) из указ. соч. и (8), имеем $X_1^* \leq X_2^t < X_2^*$. Итак, приходим к следующему. При $\theta = 1$ налог на предприятия, допускающие выбросы загрязняющих веществ, индуцирует сокращение вредных выбросов на единицу выпуска, соответствующее общественному оптимуму, однако это субоптимальный уровень выпуска.

В случае открытия новой технологии производство ниже общественно оптимального уровня в силу эффекта монопольной цены патента. С точки зрения общественного благосостояния было бы эффективно внедрять чистую технологию бесплатно. Однако производственные фирмы должны платить за лицензирование инновационной технологии, что повышает их частные производственные издержки и сокращает уровень выпуска. Если обратиться к рисунку, то общественное благосостояние от распространения более чистой технологии ниже при налоге на выбросы загрязняющих веществ, чем в оптимуме первого порядка, на площадь треугольника

zuv , который имеет основание z и высоту \bar{f}^t . При отсутствии угрозы имитации лицензионный платеж будет $S_1^* - S_2^*$, и выпуск составляет X_1^* (выражение (8) при $\mu = 0$). В другом предельном случае, если производственные фирмы в состоянии идеально имитировать патентованную технологию, лицензионный платеж равен нулю и выпуск составляет X_2^* , что получается подстановкой $\mu = 1$ в выражение (8) и сравнением с выражением (9) из указ. соч.

Используя соотношения (9) из указ. соч., (5) и (8), получаем площадь треугольника zuv в виде

$$(9)$$

Вычитая выражение (9) из выражения для ΔB^* (8) из указ. соч., получаем общественный выигрыш от распространения более чистой технологии при налоге на выбросы при $\theta = 1$:

$$\Delta B^t = \frac{rh\Delta e_1^* X_1^*}{2(1-r)} \left\{ 1 + \frac{r\Delta e_1^* \eta}{2(1-r)(2-\Delta e_1^*)} \left[1 - 2 \left(\frac{1-\mu}{1-\mu r} \right)^2 \right] \right\} \quad (10)$$

Умножая выражение (5) на X_1^* (при $\theta = 1$) или на X_2^t (при $\theta < 1$), получаем следующие выражения для прибыли патентообладателя

$$F^t = \begin{cases} \frac{\Delta e_1^* r(1-\mu)}{2(1-\mu r)(1-r)} h\theta X_1^*, \theta < 1 \\ \left\{ 1 + \frac{\mu r \eta \Delta e_1^*}{(2-\Delta e_1^*)(1-\mu r)} \right\} \frac{\Delta e_1^* r(1-\mu)}{2(1-\mu r)(1-r)} hX_1^*, \theta = 1 \end{cases} \quad (11)$$

Из выражений (1) из указ. соч. и (1) получаем равновесный объем научно-исследовательских работ

$$\left(\frac{F^t}{\Delta e_1^*} \frac{\Delta B^* \mu}{1-\mu r} \frac{r}{1-r} \right) \frac{\text{работ}}{\eta h X_1^*} \frac{1}{2(2-\Delta e_1^*)} = \frac{1}{\beta} \left(\frac{k}{\beta^2 F^t} + \frac{1}{4} \right)^{-1} \quad (12)$$

Сравнение выражений (15) из указ. соч. и (12) показывает, что равновесный объем научных исследований может быть выше или ниже объема, соответствующего оптимуму первого порядка. Предположим, что фирма-инноватор может присваивать полный общественный выигрыш от новой технологии ($F^t = \Delta B^*$). Тогда объем научно-исследовательских работ при использовании налога на выбросы превосходит объем, соответствующий общественному оптимуму первого порядка ($M^t > M^*$). Это объясняется экстерналиями, связанными с конкуренцией за патентную ренту: фирмы входят в научно-исследовательский рынок до тех пор, пока средняя прибыль в расчете на фирму, а не предельная прибыль, равна предельным издержкам (1). Поскольку кривая средней вероятности $\pi(M)/M$ лежит выше кривой предельной вероятности $\pi'(M)$, это создает общественно избыточный объем научных исследований при

Данный эффект аналогичен избыточной эксплуатации ресурсов общего пользования, например, мест рыболовства. Однако частный выигрыш от инновации (доход патентообладателя), как правило, меньше общественного выигрыша от инновации, соответствующего оптимуму первого порядка ($F^t < \Delta B^*$). Это объясняется тем, что угроза имитации инновационной технологии сокращает максимальный лицензионный платеж на большую величину, чем сокращаются общественные издержки в расчете на фирму. На рисунке частный выигрыш от инновации меньше общественного выигрыша на величину, равную площади $S_1^* yx(S_2^* + f)$ при $\theta < 1$ и площади $S_1^* iz(S_2^* + f) + zuw$ при $\theta = 1$. В результате приходим к следующему утверждению, касающемуся налога на вредные выбросы.

Налог на предприятия, допускающие выбросы загрязняющих веществ, может индуцировать избыточные или недостаточные инвестиции в разработку экологически чистых технологий в зависимости от того, доминирует ли эффект имитации или эффект экстерналий, связанный с конкуренцией за патентную ренту.

Используя выражения (1) из указ. соч. и (12), можно представить эффективность научно-исследовательского сектора от внедрения технологий, направленных на снижение вредных выбросов при применении налога на вредные выбросы, в следующем виде:

$$B(M^t) = \pi(M^t) \Delta B^t - \frac{k(M^t)^2}{2} = \left(\frac{\Delta B^t}{F^t} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{k}{\beta^2 F^t} + \frac{1}{4} \right)^{-2} \frac{k}{\beta^2} \quad (13)$$

Итак, выявлены три причины: эффект экстерналий, связанный с конкуренцией за патентную ренту; эффект имитации инновации и эффект монопольной цены патента (который имеет место только при условии $\theta = 1$), - по которым рынок инноваций при применении налога на загрязнения потенциально менее эффективен, чем в оптимуме первого порядка. Сейчас исследуем эмпирическую важность этих несовершенств, вычисляя эффективность инноваций (прибыль научно-исследовательского сектора) при налоге на выбросы загрязняющих веществ $B(M^t)$, выраженном как часть выигрыша от инновации, соответствующего оптимуму первого порядка $B(M^*)$. Расчеты проведены в широких

интервалах практически реальных параметров модели.

Рассматриваем три сценария потенциально пропорционального снижения издержек, связанных с сокращением выбросов загрязняющих веществ, оно достигается за счет инновации: $r = 0,01; 0,1; 0,4$. Эти три значения параметра r охватывают широкий интервал воздействий на отрицательные экстерналии: от очень малых сокращений вредных выбросов до очень больших. Грубо говоря, частный выигрыш от инновации уменьшается ниже общественного выигрыша пропорционально эффекту имитации, представляемому параметром μ . Исследованы ситуации, соответствующие снижению частного выигрыша за счет имитации до 75% от общественного выигрыша. В качестве базового (наиболее характерного) случая принимаем $\mu = 0,5$ (в работе⁴ приведены исследования последствий 17 инноваций, и в среднем частный выигрыш от инновации составляет 50% от общественного выигрыша).

Отношение θ описывает относительный наклон кривой предельных издержек разработки инновации и предельной вероятности разработки инновации (параметры h и X_1^* являются экзогенными). Мы выбираем этот параметр, предполагая, что вероятность разработки новой экологически чистой технологии в оптимуме первого порядка заключена между значениями 0,35 и 0,9, с базовым значением 0,65. Оптимальное пропорциональное сокращение вредных выбросов в расчете на единицу продукции в случае отсутствия новой технологии Δe_1^* равно предель-

ному экологическому ущербу, отнесенному к наклону функции предельных издержек на сокращение вредных выбросов. Для значений этого параметра принимаем интервал от 0,05 до 0,5, а базовое значение 0,2. Предполагаем, что доля выпуска, произведенного с применением новой технологии (θ), заключена между значениями 0,1 и 1, а в качестве базового значения принимаем $\theta = 0,5$. При расчетные формулы зависят также от эластичности η . Эластичность η представляет собой эластичность спроса по скрытой цене ущерба окружающей среде, вычисленную при θ , а не по цене выпуска, как традиционно определяется. Поэтому эластичность η меньше эластичности спроса на X_1 по цене при X_1^* . Для η рассмотрен интервал значений от 0,1 до 2. Условие (7) удовлетворяется при рассматриваемых интервалах значений характерных параметров.

В таблице представлены результаты расчетов прибыли научно-исследовательского сектора при налоге на выбросы загрязняющих веществ относительно оптимума первого порядка $\pi(M^*)$, полученные с использованием указанных значений характерных параметров и уравнений (8), (12), (16) из указ. соч., а также (10), (11) и (13). В таблице показаны также объемы научно-исследовательских разработок при налоге на выбросы загрязняющих веществ, отнесенные к объемам, соответствующим оптимуму первого порядка, которые рассчитаны с использованием уравнений (8), (15) из указ. соч.,

Характеристики научно-исследовательского сектора при налоге на выбросы загрязняющих веществ

Параметр	Прибыль научно-исследовательского сектора, отнесенная к прибыли, соответствующей общественному оптимуму			Объем научно-исследовательских работ, отнесенный к объему, соответствующему общественному оптимуму		
	0,01	0,1	0,4	0,01	0,1	0,4
r	0,01	0,1	0,4	0,01	0,1	0,4
базовые значения параметров	0,92	0,94	0,98	0,72	0,75	0,87
μ	0	0,93	0,93	0,93	1,26	1,26
	0,25	1,00	1,00	0,95	1,01	1,09
	0,75	0,63	0,66	0,79	0,39	0,54
$\pi(M^*)$	0,35	0,83	0,85	0,92	0,59	0,72
	0,9	1,00	1,00	0,97	1,03	1,18
Δe_1^*	0,05	0,92	0,94	0,98	0,72	0,87
	0,5	0,92	0,94	0,98	0,72	0,87
θ	0,1	0,92	0,94	0,98	0,72	0,87
	1	0,92	0,92-0,94	0,90-0,98	0,72	0,75

⁴ Social and private rates of return from industrial innovations / E. Mansfield [и др.] // Quarterly J. of Economics. 1977. V. 91. № 2. P. 221-240.

а также (11) и (12). Основным результатом, следующий из таблицы, состоит в том, что имитация

инновационной технологии сама по себе с необходимостью не означает большую неэффективность рынка экологических инноваций. В рассматриваемом базовом случае, когда частный выигрыш от инновации составляет 50% от общественного выигрыша, эффективность инноваций составляет 92 - 98% от оптимума первого порядка для инноваций, сокращающих издержки уменьшения загрязнения среды до 40%. Основная причина такого явления состоит в том, что эффект экстерналий, связанный с конкуренцией за патентную ренту, противодействует эффекту имитации.

Действительно, в некоторых случаях (когда числа в правой части таблицы превосходят единицу) эффект экстерналий, связанный с конкуренцией за патентную ренту, доминирует и объем научно-исследовательских разработок при налоге на выбросы загрязняющих веществ превосходит объем, соответствующий оптимуму первого порядка. В предельном случае, соответствующем условию имитации ($\mu = 0$), объем экологических научно-исследовательских разработок (НИР) превосходит общественно оптимальный объем на 26%. Кроме того, когда объем НИР отличается от общественно оптимального уровня, потери эффективности имеют тенденцию к уменьшению относительно эффективности экологических инноваций, поскольку дополнительная эффективность экологических инноваций снижается. Например, в рассматриваемом базовом случае при $r = 0,1$ объем экологических научно-исследовательских разработок на 25% меньше оптимума первого порядка, но эффективность инноваций (прибыль научно-исследовательского сектора), тем не менее, составляет около 94% от оптимума первого порядка. Однако, если имитационный эффект существенен, неэффективность на рынке экологических инноваций может быть более зна-

чительной. Например, когда частные выигрыши от инновации составляют 25% от общественных выигрышей, эффективность экологических инноваций при налоге на выбросы загрязняющих веществ падает до 63-79% от соответствующего оптимума первого порядка (при остальных параметрах, соответствующих базовому случаю).

Изменение параметра μ , характеризующего эффект имитации, приводит к изменению прибыльности экологических инноваций при налоге на выбросы загрязняющих веществ, однако оптимум первого порядка при этом не меняется. Напротив, изменение других параметров влияет на эффективность экологических инноваций как при налоге на выбросы загрязняющих веществ, так и в оптимуме первого порядка, причем приблизительно в одинаковой пропорции. Поэтому относительная эффективность экологических инноваций слабо чувствительна к изменениям параметров модели, кроме параметра μ , характеризующего эффект имитации.

Таким образом, установлено, что большее снижение издержек сокращения загрязнения окружающей среды при использовании новой технологии приводит к увеличению общественных и частных выигрышей в расчете на фирму при внедрении новой технологии приблизительно в одной пропорции. Аналогично увеличение вероятности открытия новой технологии при данных затратах на научно-исследовательский сектор приводит к росту общественных и частных выигрышей от инноваций приблизительно на одинаковую величину. Эффективность экологических инноваций меняется между 83 и 100% от соответствующего оптимума первого порядка при изменении вероятности открытия новой технологии между 35 и 90%.

Поступила в редакцию 06.12.2009 г.