

## Анализ модели регулирования экзогенных факторов производственной деятельности

© 2010 Н.Н. Скитер  
E-mail: lvls@mail.ru

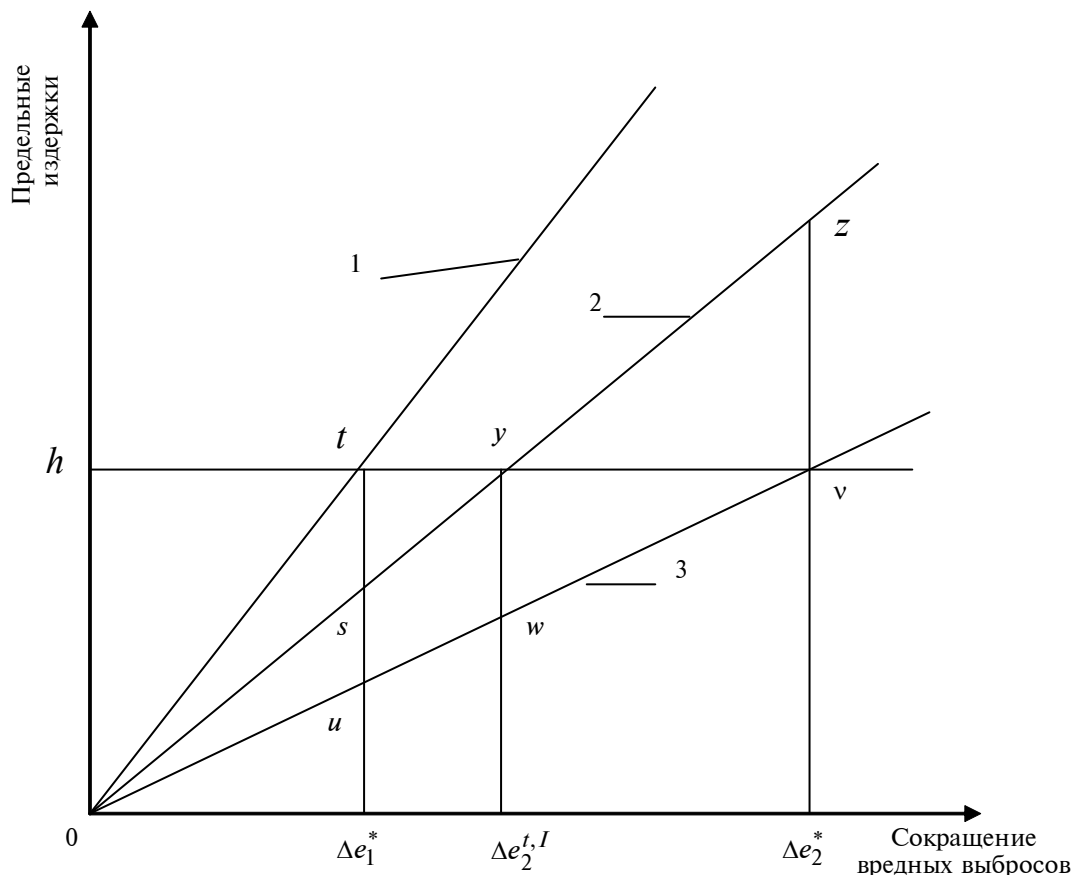
В работе построена модель разработки инноваций, направленных на снижение вредных выбросов. Решается задача оптимизации уровня производства, вредных выбросов и объема технологических инноваций. Предложенная модель может служить основой выбора наиболее эффективного инструмента регулирования выбросов загрязняющих веществ в различных условиях.

*Ключевые слова:* моделирование, разрешения на выбросы, налоги, производственные выбросы, инструменты регулирования.

В работе<sup>1</sup> нами выведены уровни сокращения вредных выбросов, производства и объема экологических научно-исследовательских разработок, максимизирующих общественное благосостояние. В работе<sup>2</sup> эффективность рынка экологических инноваций рассчитана для конкурентной децентрализованной версии модели при условии применения такого инструмента регулирования, как налоги на выбросы загрязняющих веществ. В настоящей работе исследуем эффективность продаваемых разрешений на выбросы

загрязняющих веществ как инструмента стимулирования инвестиций в экологические инновации.

Как установлено ниже, для поддержания сокращения выбросов загрязняющих веществ на оптимальном уровне, соответствующем инновации, количество разрешений должно быть скорректировано (сокращено). На практике государство может корректировать количество разрешений со временем в ответ на изменение технологии, но не в ответ на каждую отдельную инновацию.



**Рис.** Оптимальное сокращение вредных выбросов в расчете на фирму:

- 1 - предельные издержки сокращения вредных выбросов при старой технологии,  $a\Delta e$  ;
- 2 - предельные издержки сокращения вредных выбросов при имитации инновации,  $(1 - \mu r)a\Delta e$  ;
- 3 - предельные издержки сокращения вредных выбросов при новой технологии,  $(1 - r)a\Delta e$

Рассмотрены два случая, охватывающие имеющиеся возможности регулирования. Первый случай представляет политику регулирования, при которой количество разрешений фиксировано, а второй - гибкую политику, при которой количество разрешений корректируется к постинновационному оптимальному уровню.

Сначала проведем анализ для ситуации  $\theta < 1$ , т.е. при условии, что не все производственные фирмы используют новую более экологически чистую технологию. Предполагаем, что вредные выбросы ограничиваются количеством разрешений, т.е. каждая из  $X_1^*$  фирм получает  $1 - \Delta e_1^*$  разрешений на выбросы загрязняющих веществ.

В случае отсутствия новой технологии объемы производства и выбросов оптимальны, и цена разрешений равна предельным экологическим ущербам  $h$ . Если фирма может внедрить новую технологию, ее кривая предельных издержек уменьшения загрязнений поворачивается в положение  $(1-r)a\Delta e$  на рисунке. Поэтому частный оптимальный уровень сокращения выбросов загрязняющих веществ превысит  $\Delta e_1^*$  (при первоначальной цене разрешений на выбросы загрязняющих веществ). Это означает, что фирма будет иметь "свободные" разрешения на загрязнение, на выбросы загрязняющих веществ, которые могут быть проданы другим фирмам. Предполагаем, что эти разрешения покупаются фирмами-резидентами, не имеющими новой технологии (а не фирмами, входящими в отрасль), поэтому выпуск остается на уровне  $X_1^*$ .

Частные издержки для фирмы, лицензирующей новую технологию, составляют:

$$C_2^p = c + (1-r)a(\Delta e_2)^2/2 + f - q_2(\Delta e_2 - \Delta e_1^*),$$

где  $q_2$  - цена разрешений на загрязнение (индекс  $p$  относится к величинам при условии применения разрешений на выбросы загрязняющих веществ).

Такие фирмы сокращают вредные выбросы в расчете на единицу выпускаемой продукции от  $1 - \Delta e_1^*$  до  $1 - \Delta e_2$  и поэтому получают доход  $q_2(\Delta e_2 - \Delta e_1^*)$  от продажи разрешений. Минимизируя  $C_2^p$ , получаем выражение для оптимального частного сокращения вредных выбросов для фирм, использующих новую технологию:

$$(1-r)a\Delta e_2^p = q_2. \quad (1)$$

Подставляя (1) в выражение для  $C_2^p$ , получаем:

$$C_2^p = c + f + q_2 \left\{ \Delta e_1^* - \frac{q_2}{2a(1-r)} \right\}.$$

Для фирм, продолжающих использовать старую технологию, частные издержки составляют:

$$C_1^p = c + a(\Delta e_2)^2/2 + q_2(\Delta e_1^* - \Delta e_1). \quad (2)$$

Такие фирмы несколько повышают выбросы загрязняющих веществ в ответ на снижение цены разрешений на вредные выбросы. Последнее слагаемое в выражении (2) описывает затраты этих фирм на дополнительные разрешения. Минимизируя выражение (2), получаем:

$$a\Delta e_1^p = q_2. \quad (3)$$

Условие равновесия на рынке разрешений на выбросы загрязняющих веществ определяется соотношением

$$(1 - \Delta e_1^*)X_1^* = (1 - \Delta e_2^p)\theta X_1^* + (1 - \Delta e_1^p)(1 - \theta)X_1^*. \quad (4)$$

Левая часть данного уравнения представляет собой предложение разрешений, которое фиксируется государством. Правая часть уравнения (4) представляет собой совокупный спрос на разрешения на выбросы загрязняющих веществ;

$1 - \Delta e_2^p$  есть спрос на разрешения от каждой из

$\theta X_1^*$  фирм, использующих новую технологию, а

$1 - \Delta e_1^p$  есть спрос на разрешения со стороны

каждой из  $(1 - \theta)X_1^*$  фирм, использующих старую технологию. Из уравнений (1), (3) и (4)

получаем следующее выражение для цены разрешений на выбросы:

$$q_2 = \frac{(1-r)h}{1 - (1-\theta)r}. \quad (5)$$

Цена разрешений, определяемая выражением (5), меньше  $h$  при  $\theta < 1$ . Сравнивая уравнения (2), (4) из работы 3, (1) и (3), получаем следующее утверждение.

*Утверждение 1. При  $\theta < 1$  при фиксированном количестве разрешений на выбросы загрязняющих веществ снижение вредных выбросов в расчете на фирму меньше постинновационного оптимума первого порядка.*

Это объясняется тем, что разрешения на загрязнение в рассматриваемой ситуации характеризуются "избыточным предложением"; продажа свободных разрешений снижает их цену -

ниже  $h$ , и поэтому сокращение вредных выбросов ниже оптимального уровня.

Используя уравнения (1), (3) и (5), можно получить выражения для общественных издержек фирм, использующих старую и новую технологии, соответственно

$$S_1^p = c + \frac{a(\Delta e_1^p)^2}{2} + h(1 - \Delta e_1^p) =$$

$$= c + h \left\{ 1 - \frac{\Delta e_1^* (1-r) [1 - (1-2\theta)r]}{2[1 - (1-\theta)r]^2} \right\}, \quad (6)$$

$$S_2^p = c + (1-r) \frac{a(\Delta e_2^p)^2}{2} + h(1 - \Delta e_2^p) =$$

$$= c + h \left\{ 1 - \frac{\Delta e_1^* [1 - (1-2\theta)r]}{2[1 - (1-\theta)r]^2} \right\}. \quad (7)$$

Выражения (6), (7) превосходят издержки, соответствующие оптимуму первого порядка, поскольку сокращение вредных выбросов субоптимально. Общественная выгода от распространения новой технологии составляет:

$$\Delta B^p = (S_1^* - S_2^p) \theta X_1^* + (S_1^* - S_1^p) (1-\theta) X_1^*. \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой сокращение общественных издержек за счет фирм, внедривших новую технологию, за вычетом изменения общественных издержек за счет фирм, продолжающих использовать старую технологию. Подставляя в выражение (8) соотношения (6) и (7), после преобразования получаем следующее значение общественной выгоды:

$$\Delta B^p = \frac{rh\Delta e_1^* \theta X_1^*}{2[1 - (1-\theta)r]}. \quad (9)$$

Значение, определяемое выражением (9), меньше общественного выигрыша от распространения новой технологии в оптимуме первого порядка  $\Delta B^*$ .

Если фирма использует имитацию инновации вместо лицензирования новой технологии, частные издержки составят:

$$C_2^{p,I} = c + (1-\mu r) a (\Delta e_2)^2 / 2 + q_2 (\Delta e_2 - \Delta e_1^*). \quad (10)$$

Минимизируя выражение (10), получаем:

$$C_2^{p,I} = c + q_2 \left\{ \Delta e_1^* - \frac{q_2}{2a(1-\mu r)} \right\}. \quad (11)$$

Приравнивая выражение (11) к полученному ранее выражению для  $C_2^p$  и используя уравнения (2) из [1] и (5), получаем значение максимального лицензионного платежа:

$$\bar{f}^p = \frac{\Delta e_1^* q_2^2}{2h} \frac{(1-\mu)r}{(1-\mu r)(1-r)}. \quad (12)$$

Умножая выражение (12) на количество лицензиатов  $\theta X_1^*$  и подставляя в (12) уравнение (5), получаем доход патентообладателя в следующем виде:

$$F^p = \frac{\Delta e_1^*}{2} \frac{(1-\mu)(1-r)r}{(1-\mu r)[1 - (1-\theta)r]^2} h \theta X_1^*. \quad (13)$$

При использовании разрешений на вредные выбросы частные оптимальные уровни объема научно-исследовательских разработок и эффективности экологических инноваций вновь определяются уравнениями (12) и (13), однако  $\Delta B$  и  $F$  определяются уравнениями (9) и (13), соответственно.

Сравнивая выражение (13) с выражением (11) из работы 4 при  $\theta < 1$ , можно заключить, что доход патентообладателя в рассматриваемом случае ниже, чем при налоге на выбросы загрязняющих веществ (заметим, что  $F^t > F^p$  при  $(1-r)^2 < [1 - (1-\theta)r]^2$ ,  $\theta < 1$ ). Поэтому имеет место следующее утверждение.

*Утверждение 2. Объем научно-исследовательских разработок выше при использовании в качестве инструмента регулирования вредных выбросов налога на выбросы, чем при использовании фиксированного количества разрешений на выбросы.*

При обоих инструментах регулирования вредных выбросов фирмы, внедрившие новую технологию, получают первоначальное снижение издержек уменьшения вредных выбросов (определяемое треугольником  $0uw$  на рисунке), сравнимое со снижением, получаемым при использовании имитации. При налоге на выбросы фирмы также получают снижение издержек, определяемое треугольником  $u'vw$  на рисунке, за счет увеличения сокращения вредных выбросов до  $\Delta e_2^*$ . Однако при использовании разрешений на загрязнение в качестве инструмента регулирования цена разрешений падает ниже  $h$ , и поэтому прибыль от продажи дополнительных разрешений меньше, чем треугольник  $u''vw$ . Поэтому

готовность фирм платить за новую технологию меньше, чем при налоге на вредные выбросы.

Далее рассмотрим случай  $\theta = 1$ . При  $\theta = 1$  в равновесии все фирмы, находящиеся в отрасли, и фирмы, входящие в отрасль, внедряют новую технологию и несут издержки  $C_2^p$ , определяемые выражением (7). Поэтому падение цены выпускаемой продукции при наличии новой технологии составляет  $S_1^* - C_2^p$ . Используя соотношение (3), (10) из работы 5 и (7), можно получить равновесный объем выпуска продукции в виде

$$X_2^p(f) = X_1^* - (S_1^* - C_2^p) \frac{dX}{dP} =$$

$$= X_1^* \left[ 1 + \eta \left[ 1 - \frac{q_2 \left( 1 - \frac{\Delta e_2}{2} \right) + f}{h \left( 1 - \frac{\Delta e_1^*}{2} \right)} \right] \right]. \quad (14)$$

Поскольку количество производственных фирм составляет  $X_2^p$  и каждой требуется  $1 - \Delta e_2$  разрешений на выбросы, равновесие на рынке разрешений определяется соотношением

$$(1 - \Delta e_1^*) X_1^* = (1 - \Delta e_2^p) X_2^p. \quad (15)$$

Сокращение выбросов загрязняющих веществ в расчете на фирму и лицензионный платеж определяются аналогично тому, как это было сделано выше.

В уравнениях (1), (12), (14) и (15) содержатся четыре эндогенные переменные  $\Delta e_2$ ,  $q_2$ ,  $X_2^p$  и  $\bar{f}^p$ . Эта система уравнений сильно нелинейна, что приводит к очень громоздким аналитическим формулам (поскольку уровень выпуска продукции и уровень сокращения загрязнения зависят от равновесной цены разрешений, которая эндогенна; напротив, при налоге на выбросы эти переменные могут быть выражены как функции экзогенных параметров). Поэтому эта система уравнений будет проанализирована численно. Общественная выгода от распространения более экологически чистой технологии составляет:

$$\Delta B^p = (S_1^* - S_2^p) X_1^* + \left( \frac{S_1^* + C_2^p}{2} - S_2^p \right) (X_2^p - X_1^*), \quad (16)$$

где выражение

$$S_2^p = c + (1 - r)a (\Delta e_2^p)^2 / 2 + h(1 - \Delta e_2^p / 2)$$

представляет собой предельные общественные издержки производства. Выражение  $\Delta B^p$  есть сумма сокращения общественных издержек за счет первоначальных  $X_1^*$  фирм на рынке и доходов от дополнительного выпуска. Последние представляют собой площадь под кривой спроса (трапеция со средней высотой  $(S_1^* + C_2^p) / 2$  и основанием  $X_2^p - X_1^*$ ) за вычетом площади под кривой предельных общественных издержек (прямоугольник со сторонами  $S_2^p$  и  $X_2^p - X_1^*$ ). Наконец, частный оптимальный уровень объема научно-исследовательских разработок и эффективности экологических инноваций определяется уравнениями (12) и (13) из работы 6, однако  $\Delta B$  определяется уравнением (16) и  $F^p = \bar{f}^p X_2^p$ .

Далее предположим, что до распространения разработанной новой технологии количество разрешений на выбросы сокращается до нового постинновационного уровня. Этот новый уровень количества разрешений естественно определить условием равенства цены разрешений в равновесии предельным экологическим ущербам. При  $\theta < 1$  сокращение вредных выбросов в расчете на фирму общественно оптимально (из уравнений (1) и (3) при  $q_2 = h$ ), и лицензионный платеж равен платежу при налоге на выбросы, что следует из сравнения выражений (5) из работы 7 и (12). Поскольку количество лицензиатов одинаково в обоих случаях, доход владельца патента и объем научно-исследовательских разработок одинаковы в обоих случаях. Такой же вывод имеет место при  $\theta = 1$ . Действительно, из уравнений (1) и (12) следует, что сокращение вредных выбросов в расчете на фирму и лицензионный платеж такие же, как и при налоге на выбросы. Поэтому частные издержки в расчете на фирму и увеличение объема производства выше  $X_1^*$  в случае открытия новой технологии одинаковы при обоих инструментах регулирования. Корректировка количества разрешений в целях поддержания цены разрешений равной предельным экологическим ущербам устраняет асимметрию между разрешениями на загрязнение и налогами на вред-

Характеристики научно-исследовательского сектора при продаваемых разрешениях на выбросы

Параметры	Прибыль научно-исследовательского сектора, отнесенная к соответствующей прибыли при налоге на выбросы			Объем научно-исследовательских работ, отнесенный к соответствующему объему при налоге на выбросы			
	$r$	0,01	0,1	0,4	0,01	0,1	0,4
Базовые значения параметров		0,99	0,89	0,55	0,99	0,91	0,61
$\mu$	0	1,00	0,94	0,67	0,99	0,92	0,63
	0,25	0,99	0,92	0,61	0,99	0,92	0,62
	0,75	0,99	0,87	0,49	0,99	0,91	0,59
$\pi(M^*)$	0,35	0,99	0,88	0,50	0,99	0,90	0,58
	0,9	0,99	0,93	0,69	0,99	0,93	0,68
$\Delta e_1^*$	0,05	0,99	0,89	0,55	0,99	0,91	0,61
	0,5	0,99	0,89	0,55	0,99	0,91	0,61
$\theta$	0,1	1,00	0,98	0,89	1,00	0,98	0,90
	1	1,00	0,94-0,99	0,63-0,93	1,00	0,92-0,99	0,63-0,91

ные выбросы как инструментами регулирования загрязнения окружающей среды.

*Утверждение 3. Если количество разрешений на выбросы корректируется к соответствующему постинновационному уровню, сокращение вредных выбросов и объем экологических инноваций одинаковы при обоих инструментах регулирования (разрешениях и налогах на выбросы загрязняющих веществ).*

Результаты численных расчетов приведены в таблице. Левая часть таблицы показывает результаты расчетов эффективности экологических инноваций при фиксированном количестве разрешений на выбросы загрязняющих веществ, отнесенной к эффективности экологических инноваций при налогах на выбросы. Правая часть таблицы представляет объем научно-исследовательских работ при фиксированном количестве разрешений на выбросы, отнесенный к соответствующему объему при налоге на выбросы загрязняющих веществ. Все данные таблицы не превосходят единицу. Это означает, что объем научно-исследовательских работ и эффективность экологических инноваций при продаваемых разрешениях на выбросы, как правило, ниже, чем при налоге на выбросы. Как обсуждалось ранее, это объясняется тем, что цена на разрешения падает ниже предельных экологических ущербов, что приводит к субоптимальному сокращению выбросов загрязняющих веществ и ослабляет стимулы разработки экологических инноваций.

Однако различие между продаваемыми разрешениями на загрязнения и налогом на загрязнения как инструментами регулирования вредных выбросов существенно только при значи-

тельных инновациях (приводящих к значительному сокращению вредных выбросов), когда цена разрешений на выбросы сильно падает. Например, эффективность экологических инноваций при разрешениях на выбросы составляет 87-100% от соответствующей эффективности при налоге на выбросы при экологической инновации, снижающей издержки сокращения вредных выбросов на 10%. При инновации, снижающей издержки сокращения вредных выбросов на 40%, эффективность экологических инноваций при разрешениях на выбросы составляет 60-70% от соответствующей эффективности при налогах на выбросы.

Таким образом, различие между разрешениями на выбросы и налогами на выбросы может быть устранено путем корректировки этих инструментов к соответствующим постинновационным уровням. Заметим, однако, что на практике довольно трудно осуществлять такую корректировку, поэтому фиксированное количество разрешений на выбросы представляется более реалистичным инструментом регулирования.

<sup>1</sup> Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф. Моделирование и анализ эффективности государственного регулирования производственного сектора // Экон. науки. 2010. □ 2.

<sup>2</sup> Скитер Н.Н. Моделирование экономических инструментов стимулирования инвестиций в экологические инновации // Предпринимательство. 2009.

<sup>3</sup> Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф. Указ. соч.

<sup>4</sup> Скитер Н.Н. Указ. соч.

<sup>5</sup> Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф. Указ. соч.

<sup>6</sup> Скитер Н.Н. Указ. соч.

<sup>7</sup> Там же.