

О ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНОЧНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Гофман К.Г., Дунаевский Л.В., Кречетов Л.И., Львовская К.Б.

(Москва)

Обсуждаются преимущества и трудности использования региональных систем торговли квотами на загрязнение как экономического инструмента регулирования качества окружающей среды; излагаются принципы и методы разработки системы модельной поддержки предприятия, нуждающегося в дополнительной квоте на выбросы; анализируется базовая модель; приводится численный пример.

На пути к эколого-экономическому оздоровлению нам придется пройти между Сциллой экологического и Харибдой экономического экстремизма. Конфликт между экологией и экономикой снимается лишь в долгосрочной перспективе. В реальных условиях сегодняшнего дня во множестве случаев необходим эколого-экономический компромисс. Такой компромисс невозможен, если полагаться только на систему экологических запретов и наказаний — административных, экономических и уголовных. Именно на такие меры уповают сейчас многие наши экологи перед лицом нарастающей лавины экологических бедствий. Все эти меры, нет слов, нужны. Но эффект их будет ничтожен, если одновременно мы не создадим систему экономического управления экологической безопасностью, ориентированную на реалии нашего тернистого пути к рыночному изобилию.

В 1989 г. по данным Госкомстата СССР, в стране произошло 1773 залповых аварийных выброса и сброса загрязняющих веществ в окружающую среду. Экологические аварии происходят, как правило, на территориях с и без того высоким "установившимся" уровнем загрязнения. Переполняются не только хранилища отходов, но и чаша общественного экологического терпения.

Ни за год, ни даже за пять лет нам не удастся закрыть все экологически опасные объекты, переоснастить их современным экологичным оборудованием, природоохранными объектами, средствами контроля и т.п. И не потому, что недооцениваются масштабы экологического риска. "Бедность — главный загрязнитель окружающей среды". Пора и нам осознать глубокий смысл этой поистине выстраданной ныне богатыми странами, формулы. Производственная культура, в том числе и экологическая, верность принятым обязательствам, включая экологические, наконец, подлинная экологизация всего образа жизни, иерархии материальных и духовных ценностей реально достижимы лишь в обществе, перешагнувшем определенный порог материального благополучия. Нам же, увы, еще далеко до этого порога, и единственный путь движения к нему — создание демократической рыночной экономики. Смертельная опасность на пути к экономическому и, соответственно, экологическому оздоровлению — соблазн ускорить, облегчить движение с помощью чрезмерно больших доз внеэкономического, т.е. административно-правового принуждения.

Борьба с экологическим кризисом не должна усугублять кризис экономический, т.е. улучшение экологической ситуации в одном регионе не должно достигаться за счет нарастания товарного дефицита, падения доходов населения и роста безработицы пусть даже в других регионах страны. Сразу же подчеркнем, что это требование не имеет ничего общего с любимой многими хозяйственными руководителями ссылкой на "производственную необходимость". Очень часто закрытие экологически вредных

производств оказывается при ближайшем рассмотрении не только экологически необходимым, но и экономически полезным (один из многих примеров — прекращение строительства и перепрофилирование действующих заводов белково-витаминных концентратов — "заменителей" белка в кормопроизводстве). Другое дело, что такая эколого-экономическая "гармония" бывает, увы, далеко не всегда. Поэтому речь должна идти именно об эколого-экономической, а не лишь экологической экспертизе хозяйственных решений.

Внеэкономическое принуждение оправдано, как правило, в тех случаях, когда оно может быть трансформировано в экономическое побуждение. Иными словами, экологические императивы должны существовать не только в форме "кнутов" (неотвратимость наказания за их нарушение), но и во все большей мере — в форме "пряника" — когда предприятиям экономически выгодно не только соблюдение установленных экологических требований, но и их "перевыполнение" — создание дополнительных резервов экологической безопасности.

Существуют два основных подхода к экономическому регулированию природоохранной деятельности. Первый базируется на регулировании с помощью введения платежей за загрязнения и другие виды антропогенных нарушений окружающей среды. Он получил определенное распространение в ряде стран Западной Европы. С 1991 г. введены платежи за загрязнение воздуха, воды и складирование отходов и в нашей стране. Теоретически установление таких платежей на уровне, совпадающем с оценкой экономического ущерба от загрязнения, позволяет достигнуть с помощью этого регулятора экономического оптимума загрязнения и далее (с повышением ставки платежа) — социального оптимума [1]. Однако на пути такого регулирования встают труднопреодолимые препятствия, связанные с квантификацией ставок платежей и их "вживлением" в сложившуюся систему налогообложения. Кроме того, ставки налогов (платежей) за загрязнение — почти всегда продукт централизованных эвристических процедур, а не результат реального рыночного процесса. В данном случае мы имеем дело скорее с "квазирыночным" регулированием, нежели с подлинно рыночным саморегулированием хозяйственной деятельности.

Второй метод по своему существу в значительно большей мере является рыночным. Речь идет о формировании особого рынка разрешений на загрязнение. На долю "центра" в этом случае остается лишь установить социально приемлемый уровень загрязнения в пределах рассматриваемой территории, а вклад каждого загрязнителя в допустимый уровень загрязнения определяется путем свободной взаимовыгодной торговли квотами на загрязнение между предприятиями-загрязнителями. Эффективность такой торговли обусловлена объективно существующими различиями в затратах предприятий на снижение выбросов одноименных загрязнений. Уловить эти различия в рамках административной (централизованной) системы управления невозможно, а процесс торговли побуждает предприятия к поиску партнеров по взаимовыгодному перераспределению "бремени" природоохранных затрат. Торговля квотами на загрязнение является наиболее гибким из всех известных методов экономического регулирования качества природной среды, позволяет сочетать экологические требования с задачами экономического роста и поддержкой деловой активности, стимулирует предприятия к внедрению достижений НТП в производственных технологиях и природоохранной технике, обеспечивает поэтапное улучшение качества окружающей среды [2].

Рыночные системы природоохранного регулирования можно разбить на два типа с точки зрения их организации. Первый напоминает обычный рынок товаров с достаточно простыми процедурами поиска партнеров и заключения сделок. Однако чтобы заключение сделок не приводило к нежелательному изменению качества окружающей среды, должны быть заранее рассчитаны их коэффициенты (обменные эквиваленты) по всем загрязняющим веществам и предусмотрены корректировки на случай изменения экологической ситуации. Такая последовательная работа может быть выполнена лишь для рынка с небольшим числом участков и для территорий, где состояние окружающей среды либо относительно постоянно, либо меняется регулярным образом. Поэтому удовлетворительно функционирующих рынков такого типа насчитывается буквально

но единицы. Кроме того, малое число участников сдерживает активность как покупателей, так и продавцов квот на выбросы, заставляя последних придерживаться разрешения, а первых не спешить с покупкой, поскольку возможности для обратной сделки в дальнейшем могут и не представиться.

Другой тип рыночной системы регулирования предполагает большую разрозненность участников, но зато и большее их представительство. Процедуры купли-продажи квот на выбросы на этом рынке обставлены гораздо меньшим количеством предварительных условий и ограничений. В сущности, это не рынок, а система изолированных сделок, каждая из которых должна обосновываться в отдельности и получать специальное одобрение контролирующего регионального органа. Отсутствие жесткой регламентации обмена загрязнителями расширяет границы для взаимовыгодных сделок. Основные проблемы, с которыми сталкивается предприятие, желающее заключить сделку, — поиск партнеров и обоснование сделки. В решении этих проблем предприятию может и должна быть оказана помощь со стороны либо контролирующего регионального органа, либо организаций типа экспертных систем, специально ориентированных на выполнение таких функций. Ниже излагаются принципы системы модельной поддержки предприятия, нуждающегося в дополнительной квоте на выбросы.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ ПО ЗАКЛЮЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СДЕЛКИ: ИСХОДНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПОНЯТИЯ

Предприятие — источник вредных выбросов — имеет различные мотивы для заключения экологической сделки. Оно может предпринять такую попытку, чтобы уменьшить бремя платежей за необеспеченные разрешениями выбросы, или создать определенный запас разрешений на выбросы, ожидая повышения цен на разрешения, или обеспечить свое настоящее либо предполагаемое развитие, которое должно сопровождаться ростом выбросов. Все эти три основания имеют общее: предприятие желало бы получить какую-то, пока неопределенную, дополнительную квоту на выбросы, причем согласно заплатить за нее в зависимости от ожидаемой выгоды.

Для конкретизации предлагаемого метода рассмотрим одну из этих ситуаций, когда предприятие собирается увеличить выбросы вследствие развития производства, ожидая получение определенной прибыли от этого развития и предполагая расходовать часть ее на покупку разрешений на выбросы у других предприятий. В сущности, эта ситуация достаточно общая, и остальные могут быть сведены к ней, если предположить наличие некоторых немедленных или ожидаемых выгод у данного предприятия, связанных с увеличением его выбросов.

Обязательность компенсации повышения выбросов данного предприятия снижениями выбросов других источников обусловливается, естественно, экологическими требованиями. Эти требования могут базироваться на различных показателях, относиться к видам и объемам веществ, для которых разрешены сделки, предусматривать контроль качества воздуха в определенных пунктах на данной территории, периодически или постоянно. Предлагаемая система в принципе допускает применение самых разных методов контроля качества окружающей среды.

Предположим, что контролируются показатели загрязнения приземного слоя воздуха рассматриваемой территории (зоны экологического влияния предприятия и его возможных партнеров). В этом случае наиболее общие экологические требования к сделке заключаются в неухудшении контролируемых показателей после сделки по сравнению с их значениями до ее проведения. Если в районе размещения данного предприятия сложилась напряженная экологическая ситуация и перед региональными органами управления стоит задача поэтапного улучшения качества окружающей среды до установленных целевых стандартов, к экологической сделке могут предъявляться более жесткие требования (частный случай общего требования) — обязательное улучшение контролируемых показателей на заданную величину (например, на 10% от исходного значения или другим способом). Наконец, если качество воздушной среды в районе удовлетворяет принятым стандартам, а сами стандарты считаются вполне приемлемыми.

ми и не намечаются в ближайшей перспективе к ужесточению, то экологические требования к сделке можно несколько ослабить (по сравнению с исходными) и считать сделку допустимой при условии соблюдения принятых стандартов после изменения выбросов, предусмотренного сделкой. Эти условия не "вкладываются" целиком в исходное требование, поскольку стандарты, вообще говоря, могут быть соблюдены и при некотором (незначительном) ухудшении контролируемых показателей.

Предприятие, рассматривающее альтернативы повышения своих выбросов, для принятия окончательного решения должно оценить перспективы с точки зрения экономической целесообразности (выгодности) и экологической допустимости. Выбор партнера для заключения сделки определяется набором альтернатив повышения собственных выбросов предприятия и получаемых или ожидаемых при этом выгод, затратами на снижение выбросов будущего партнера по сделке, а также геофизическими параметрами окружающей среды, определяющими изменение качества атмосферного воздуха при изменениях выбросов данных предприятий. Возникающая здесь многовариантность даже в случае с одним загрязняющим веществом может быть настолько сложной, что ее невозможно удовлетворительно оценить традиционными методами. Трудности усугубляются еще и тем, что в поисках наиболее выгодной сделки может понадобиться обратиться с предложениями не к одному, а к нескольким партнерам. Если при этом каждый из них выбрасывает свой "букет" загрязняющих веществ, то картина многократно усложняется. Следует также иметь в виду, что при оценке и заключении сделок во внимание принимается и масса внешних, дополнительных соображений, которые часто не поддаются формализации, но могут быть решающими.

Указанные трудности второго типа внутренне присущи этой системе и носят нестандартный характер. Их преодоление может рассматриваться как ключевая теоретическая и практическая проблема использования таких систем.

Для решения двух основных задач — поиска партнера для сделки и эколого-экономического обоснования сделки — разработан метод, позволяющий представлять множество возникающих альтернатив с помощью графических и цифровых средств в удобной для анализа форме с диалогом пользователь — компьютер.

Процесс поддержки разбивается на три этапа

1. *Поиск партнеров.* Ищут группы, состоящие из одного, двух или большего числа предприятий, которые могли бы рассматриваться как будущие партнеры по заключению сделки с данным предприятием.

2. *Ранжирование партнеров.* Будущие вероятные партнеры, т.е. группы предприятий, более детально анализируются в терминах ожидаемой экономической выгоды для данного предприятия.

3. *Основание сделки.* Для группы предприятий, зафиксированной в качестве будущего партнера, изучается множество возможностей при заключении сделки. На основе анализа строится пространство допустимых сделок, которое получается в виде пересечения двух пространств: экологически допустимых и экономически приемлемых сделок.

Порядок заключения сделки между предприятиями — произвольный, либо это может быть коллективная сделка. В любом случае можно проанализировать выгодность и экологический результат по каждой отдельной сделке. Таким образом, предлагаемая система позволяет аналитически сопровождать предприятие на всем пути, начиная от его намерения повысить выбросы до этапа переговоров с конкретно выбранным им партнером. Третий этап может также использоваться при ведении самих переговоров, уточнении позиций сторон и получении новой информации об их возможностях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МНОЖЕСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПАРТНЕРОВ

При поиске партнеров данное предприятие, планирующее повысить свои выбросы на фиксированную величину x_0 , интересуется возможностями других предприятий по снижению их выбросов. Пусть предприятие $i = 1, \dots, n$ входит в число партнеров, переменная x_i — снижение выбросов конкретного, являющегося предметом торга

вещества (это может быть и агрегированный показатель "условно-эквивалентного" выброса по группе веществ, в рамках которой разрешен взаимный обмен) на предприятии $i = 1, \dots, n$; x_i могут быть непрерывными или дискретными.

В первую очередь выбор партнера для заключения сделки должен учитывать необходимость эффективной компенсации ухудшения экологической ситуации, создающейся вследствие повышения выбросов предприятия-инициатора. Возникающее здесь экологическое ограничение назовем требованием экологической допустимости стратегии снижения выбросов $(x_1, \dots, x_n)$. Для его аналитической записи предположим, что вклад a_{ij} любого предприятия в загрязнение каждой конкретной контролируемой точки $j = 1, \dots, m$ известен. Величина a_{ij} означает, что если предприятие i увеличивает выброс на единицу, то загрязнение в точке j возрастет на a_{ij} . Под загрязнением может пониматься либо некоторый агрегированный показатель качества воздуха (индекс загрязнения по нескольким веществам), либо показатель по какому-то отдельному веществу (концентрация в мг/м^3 или долях ПДК). В общем случае значение a_{ij} может быть вектором. При этом суммарный вклад всех предприятий при осуществлении ими выбросов равен $\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i$.

Если S_j — экологический императив, который должен выполняться в точке j после изменения выбросов предприятия, обусловленного сделкой, то критерий экологической допустимости сделки, приводящей к выбросам $(x_i^0 - x_i)$, где x_i^0 — начальные значения, и выбросы $x_0^0 + x_0$ для предприятия-инициатора $i = 0$, где x_0^0 его начальный выброс, а x_0 — увеличение выброса, имеет вид

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}(x_i^0 - x_i) + a_{0j}(x_0^0 + x_0) \leq S_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где a_{0j} — коэффициент влияния предприятия-инициатора. В соответствии с приведенными выше условиями, определяющими экологическую допустимость сделки, ограничение S_j в (1) может модифицироваться при требованиях:

а) неухудшения исходного состояния воздушной среды в контрольных точках

$$S_j = \sum_{i=0}^n a_{ij}x_i^0, \quad j = 1, \dots, m, \quad (1')$$

б) поэтапного улучшения состояния воздушной среды

$$S_j = (1 - \delta_j) \sum_{i=0}^n a_{ij}x_i, \quad 0 < \delta_j < 1, \quad j = 1, \dots, m, \quad (1'')$$

где коэффициент "экологической жесткости" δ имеет индекс j , поскольку может устанавливаться дифференцированно для различных контрольных точек $j = 1, \dots, m$ в зависимости от исходного уровня загрязнения в каждой точке;

в) соблюдения принятых стандартов качества атмосферного воздуха, когда S_j выражается либо в показателях ПДК (для отдельного вещества), либо в индексных показателях (по определенной группе веществ).

Экологическая допустимость сделки является обязательным условием выдачи разрешения со стороны контролирующего органа на ее проведение. Однако предприятие заинтересовано не только и не столько в экологической выгоде. Предположим, что предприятие-инициатор в состоянии определить заранее лимит суммы D , который оно согласно заплатить за разрешение на дополнительный выброс в размере x_0 . Если не учитывать затраты на ведение переговоров по заключению сделки с партнером и на обоснование сделки, то сравнение суммы, выделяемой предприятием-инициатором, и расходов других предприятий на снижение ими выбросов на соответствующую величину дает критерий экономической приемлемости возможной сделки

$$\sum_{i=1}^n d_i(x_i) \leq D, \quad (2)$$

где $d_i(x_i)$ — функция затрат предприятия i на снижение его выбросов. Следует иметь в виду, что реально эти затраты могут быть дискретной величиной, зависящей от конкретного средозащитного мероприятия.

В (2) можно учесть и другие компоненты, о которых говорилось выше, например, экономию затрат предприятий, снижающих выбросы, вследствие уменьшения платежей за них, если таковые имеются. Тогда (2) примет вид

$$\sum_{i=1}^n d_i(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \leq D, \quad (3)$$

где λ_i — ставка платежа за выбросы предприятий i .

Поскольку в критерий экономической целесообразности входят функции затрат на снижение выбросов $d_i(x_i)$, то перед пользователями предлагаемой системы встает проблема их оценки. Оценку таких функций может проводить экспертная группа, за помощью к которой обратилось предприятие-инициатор, например, на основе списка всевозможных типовых воздухоохраных мероприятий на рассматриваемых предприятиях-партнерах. Другой возможный способ — проведение специального опроса предприятий — предполагаемых партнеров, в результате которого определяется сумма, за которую они согласны снизить свои выбросы на указанную величину (предлагается несколько вариантов снижения) и построение функций $d_i(x_i)$ на основе полученных данных. Можно представить и такую систему, когда предприятия региона сами регулярно направляют сведения о готовности продать (купить) ту или иную квоту на выбросы за некоторую сумму в региональный информационный банк при природоохранном контролирующем ведомстве.

Система неравенств, образуемых критериями экономической целесообразности (выгодности) и критерием экологической допустимости, составляет базовую модель, используемую на первом этапе анализа

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}(x_i^0 - x_i) + a_{ij}(x_0^0 + x_0) \leq S_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \leq D.$$

Заметим теперь, что любая стратегия снижения выбросов x , удовлетворяющая системе (4), определяет группу предприятий, осуществляющих такое снижение. Обозначим эту группу $G(x) = \{0 \leq i \leq n : x_i > 0\}$. Каждую такую группу предприятий $G(x)$, где x — допустимая системой (4) стратегия, можно рассматривать как возможного партнера для заключения сделки.

Проанализируем случай, когда переменные x входят в (4) линейно. Тогда для определения $G(x)$ нет нужды перебирать всевозможные стратегии x , удовлетворяющие системе неравенств (4). Чтобы получить все такие группы, можно, например, воспользоваться алгоритмом Н.В. Черниковой для вычисления общей формулы неотрицательных решений системы линейных неравенств [3]. Множество решений (4) представляет собой в линейном случае выпуклый острый конус. Алгоритм позволяет определить векторы u , лежащие на ребрах этого конуса. Эти векторы сами являются допустимыми стратегиями, но они также обладают тем ценным свойством, что любая допустимая стратегия представима выпуклой комбинацией таких векторов. Отсюда становится понятным, что группа $G(x)$, где x — допустимая стратегия, может быть получена как группа $G(y)$, где y — один из векторов, лежащих на ребрах конуса неотрицательных решений. Группы, отобранные для анализа, обозначим через G^* .

Мы предполагали, что задача, сформулированная на основе базовой модели (4), имеет решение (даже бесконечное число решений). Однако вполне может случиться, что

* Для получения программы для IBM PC AT, позволяющей рассчитывать группы будущих предприятий-партнеров, У.Х. Малковым была модифицирована одна из ранее существовавших программ, работающих на основе алгоритма из [3].

в реальных условиях, диктующих экзогенные параметры модели, модель (4) окажется несовместной, т.е. не будет существовать стратегии снижения выбросов x , одновременно удовлетворяющей критериям экономической целесообразности и экологической допустимости при заданном объеме увеличения выбросов x_0 , сумме D и функциях затрат $d_i(x_i)$. Тогда предприятие-инициатор ставит перед собой новую задачу: определить, на какую величину дополнительного выброса x_0 (x_0 теперь переменная) оно может заключить сделку (приобрести разрешение), чтобы сделка была экологически допустимой и экономически приемлемой (выгодной) для всех ее участников.

Предположим, что известны: $d_0(x_0)$ — функция затрат предприятия-инициатора на снижение своих выбросов и $D(x_0)$ — функция затрат, которые предприятие-инициатор готово понести для получения разрешения на дополнительный выброс x_0 . Можно считать, что значение $D(x_0)$ зависит от финансовых возможностей предприятия, обусловленных приростом мощностей (объема производства продукции), который, в свою очередь, непосредственно коррелирует с x_0 . Желание заключить сделку ради разрешения на дополнительный выброс возникает у предприятия в том случае, если $D(x_0) \leq d_0(x_0) - \lambda_0 x_0$, где λ_0 — ставка платежа за единицу выброса (если таковые предусмотрены системой налогообложения предприятия). Целесообразно рассмотреть возможности сделки при двух исходных условиях

1. $D(x_0) < d_0(x_0) - \lambda_0 x_0 \forall x_0$. Тогда (4) принимает вид

$$\sum_{i=1}^n d_i(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i - D(x_0) \leq 0, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}(x_i^0 - x_i) + a_{0j}(x_0^0 - x_0) \leq S_j, \quad j = 1, \dots, m.$$

Следует подчеркнуть, что переход от (4) к (5) означает принципиальное изменение "экологической" парадигмы хозяйственного поведения предприятия. Если в первоначальной постановке, отраженной в (4), предприятие при определении перспектив своего развития исходило из примата производственно-экономических факторов, а лишь потом начинало "подгонять" свою деятельность под экологические требования, то в новой постановке (модель (5)) экологический фактор становится полноценным участником процесса принятия решения по развитию (расширению) производства. Причем решение задачи $\{x_0 \rightarrow \max \text{ при ограничениях (5)}\}$ в моделируемой ситуации (с учетом прямой корреляции объемов выпуска продукции и выбросов в атмосферу) можно полагать абсолютным экологическим ограничением на экономический рост.

2. Соотношение между $D(x_0)$ и $d_0(x_0) - \lambda_0 x_0$ однозначно не определено и зависит от значений x_0 . В этом случае речь должна идти о модельной поддержке предприятия не только при заключении сделки, а при решении более широкой проблемы: обосновании выбора стратегии природоохранного поведения предприятия-инициатора — финансирования снижения собственных выбросов или выбросов других предприятий-партнеров по экологической сделке, или сочетания того и другого в определенных пропорциях.

РАНЖИРОВАНИЕ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ ПАРТНЕРОВ

На этом этапе каждая из групп G оценивается предприятием-инициатором с точки зрения экономической эффективности заключения с ней сделки. Сам факт выгоды уже гарантирован условием экономической целесообразности (2). Тем не менее выгода заключения сделки с каждой группой может сильно различаться, однако это не выявлено моделью, использованной на первом этапе.

Цель второго этапа — получение нижней оценки затрат на снижение выбросов по данной группе предприятий в результате решения экстремальной задачи на минимум таких затрат при ограничениях, выражающих экологические требования на результи-

рующие выбросы. Модель, таким образом, имеет вид

$$\sum_{i=1}^n c_i (x_i^0 - x_i) \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\varphi_j(x^0 - x, x_0^0 + x_0) \leq S_j, \quad j = 1, \dots, m,$$

где c_i — затраты на снижение выбросов предприятием; φ_j — функция, определяющая степень загрязнения, причиняемого выбросами $x^0 - x$, $x_0^0 + x_0$ в контрольной точке; x^0 — параметр.

В отличие от (4), где мы располагали лишь линейным алгоритмом, в (6) переменные могут быть дискретными, а функции φ_j невыпуклыми. Это не только приемлемо, но и оправдано, поскольку на первом этапе ставится более грубая задача — указать исключительно перспективные группы предприятий для заключения сделки, тогда как на втором этапе проводится более тонкий анализ возможностей каждой группы, требующий максимально адекватного представления экологических ограничений и функций затрат (с учетом выгод, связанных с возможностью повышения выбросов, с уменьшением платежей за выбросы и др.).

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СДЕЛКИ

Третий этап анализа представляет собой расчет конкретного пространства допустимых сделок, образующегося в результате пересечения пространств экономически целесообразных и экологически допустимых сделок. Оба пространства формулируются в терминах вариации выбросов на предприятиях, участвующих в конкретной сделке. Имеется следующий набор переменных: увеличение выбросов на предприятии-инициаторе, снижение выбросов на нем (на других производствах) вследствие проведения средозащитных мероприятий и уменьшение выбросов на предприятиях-партнерах.

Построение пространства допустимых сделок будет продемонстрировано на числовом примере*. Предполагается, что в результате первых двух этапов анализа определился один из перспективных партнеров — единичное предприятие. Предприятие-инициатор и предприятие-партнер имеют по одному источнику выбросов с одним и тем же загрязнителем.

Обозначим через И предприятие-инициатор, П — предприятие-партнер. Предприятие И собирается расширить производство, построив новый цех Н. Предполагается, что атмосфероохранные мероприятия по снижению выбросов (АОМ) могут быть проведены на И и на П. Пусть также M_1 — выброс на И (без Н) до проведения АОМ на И; M_2 — выброс на П до АОМ на П; m_1 — выброс на И после АОМ; m_2 — выброс на П после АОМ; n — выбросы на Н (все их показатели имеют размерность г/с, M_1 , M_2 и n — известные величины); $c_M(m_1 + n, m_2)$ — оценка уровня загрязнения атмосферы, создаваемого выбросами И, Н и П, представляющая собой максимальную концентрацию конкретного загрязнителя в приземном слое атмосферы при "нормально неблагоприятных метеоусловиях" [4].

При расчетах c_M в соответствии с методикой расчета концентраций загрязняющих "ОНД-86" [4] (программная версия "Эфир-6") использовались типовые значения параметров источников выброса твердых частиц, соответствующие трубам работающих на каменном угле электростанций мощностью 100 000–250 000 кВт. Отметим, что пара переменных $(m_1 + n, m_2)$ определяет координаты в пространстве сделок. В качестве экологического ограничения принимается условие типа в): $c_M(m_1 + n, m_2) < \text{ПДК}_k$, где k — индекс рассматриваемого загрязнителя (в данном случае — твердых частиц).

Для проверки экономической целесообразности сделки была построена регрессионная зависимость затрат на очистку отходящих газов z (коп/с) от интенсивности (секундной мощности) выбросов M (г/с) при постоянном коэффициенте очистки η (от-

* Расчеты выполнены Е.П. Бочаровым.

ношении массы выброса к массе этого же загрязняющего вещества, содержащегося в отходящих газах основного производства); $z = 0,9792 m^{-0,3914}$, определенная на основе данных по типичным ТЭС мощностью 100 000–250 000 кВт ($\eta = 0,95$). Данная зависимость между затратами на снижение выбросов и величиной результирующих выбросов справедлива лишь в некотором интервале изменения переменных. В частности, она заведомо нарушается при малых значениях результирующих выбросов m_1 и m_2 . Поэтому мы предполагали, что эти значения удовлетворяют ограничениям: $m_1 \geq m_1^0$, $m_2 \geq m_2^0$, где m_1^0 и m_2^0 вычисляются с помощью данных, характеризующих наиболее эффективные способы очистки.

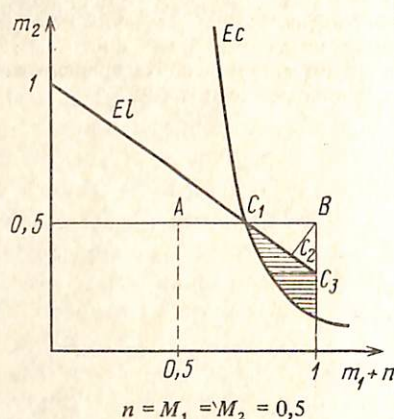
Была также принята гипотеза линейной зависимости величины чистого дохода (прибыли за вычетом налогов и фиксированных платежей) D (коп/с) от выброса n (г/с) в новом цехе предприятия-инициатора Н: $D(n) = \gamma n$, вполне приемлемая для энергетических установок (при постоянных параметрах очистки).

Пусть S — сумма, которую И готово выплатить предприятию П, чтобы оно своим снижением выбросов компенсировало повышение выбросов И в результате ввода нового цеха Н. Предположим, что П рассчитывает получить от И сумму $S(m_2)$, не только покрывающую его затраты на снижение выбросов, но и обеспечивающую некоторый уровень рентабельности, например 20%: $S(m_2) = 1,2 [z_2(m_2) - z_2(M_2)]$. Тогда сделка будет экономически целесообразной для П, если $S \geq S(m_2)$, и экономически целесообразной для И, если $D(n) - [z_1(m_1) - z_1(M_1)] - S > 0$, где $z_1(m_1)$ — $z_1(M_1)$ и $z_2(m_2) - z_2(M_2)$ — издержки, связанные с АОМ на И и П.

Таким образом, условие экономической приемлемости сделки для обоих участников можно записать в виде неравенства

$$D(n) - [z_1(m_1) - z_1(M_1)] - 1,2 [z_2(m_2) - z_2(M_2)] > 0. \quad (7)$$

Введя в эту формулу конкретный вид регрессионных зависимостей z_1 и z_2 (они полагаются одинаковыми), рассмотрим границу множества экономически целесообразных сделок при $\gamma = 2$, $n = m_1 = m_2 = 0,5$, $m_1^0 = m_2^0 = 0,1$ и в предположении, что источник выбросов П находится на опасном расстоянии от источника И, т.е. в точке,



где достигается максимальная концентрация загрязнителя (твердых частиц) от выбросов И при так называемых нормально неблагоприятных метеоусловиях и опасной скорости ветра [4]. Этот вариант расчетов показан на рисунке.

Граница множества экономически целесообразных сделок, задаваемая уравнением (7), изображена на рисунке кривой Ec , само множество — правее ее.

Точка A означает ситуацию до введения нового цеха, т.е. $m_1 + n = M_1 = 0,5$, $M_2 = 0,5$, $n = 0$; точка B соответствует выбросам после ввода Н, но до совершения сделки, т.е. $m_1 + n = M_1 + n = 1,0$, $m_2 = M = 0,5$. Как видно из рисунка, точка A находится в области экологически допустимых решений, а B попадает в экологически недопустимую область, отделяемую линией EL . Пространство допустимых сделок как пересече-

ние пространств экологически допустимых и экономически приемлемых (выгодных) сделок заштриховано.

Рассмотрим некоторые характерные допустимые сделки. Одной из них соответствует точка C_1 , лежащая на пересечении границ этих двух пространств. Ее координаты: $m_1 = 0,115$, $m_2 = 0,5$. Эта точка характеризует не сделку, а ее отсутствие: для И экономически приемлемым и экологически допустимым оказывается вариант, при котором оно компенсирует возрастание выбросов от нового цеха Н снижением выбросов на старом производстве И. Допустимой сделке, осуществляемой между И и П с параллельным снижением выбросов на старом производстве И, соответствует точка C_2 со значениями результирующих выбросов $m_1 = 0,33$, $m_2 = 0,33$. Точка C_3 , имеющая координаты $m_1 + n = 1,0$ ($m_1 = 0,5$); $m_2 = 0,2$, отвечает допустимой сделке без проведения АОМ на И.

Для трех рассмотренных вариантов компенсации выбросов нового производства может быть подсчитана выгода предприятия-инициатора, измеряемая итогом левой части (7). Для точек C_1 , C_2 и C_3 значения этого показателя равны 0; 0,511 и 0,335 коп/с, так что наиболее выгоден из трех второй вариант, сочетающий частичное снижение выбросов на старом производстве предприятия-инициатора И с заключением сделки с П.

Проведенные расчеты демонстрируют возможности предлагаемой системы поддержки предприятия-инициатора, а также возможности системы торговли квотами на выбросы обеспечивать экономию затрат в осуществление АОМ (при достижении необходимых экологических результатов) и даже получение прибыли от снижения выбросов, как в случае с П. Здесь мы видим наглядную иллюстрацию провозглашенного в США лозунга: "Заниматься снижением вредных выбросов — выгодно!"

ЛИТЕРАТУРА

1. Гофман К.Г., Гусев А.А. Экологические издержки и концепция экономического оптимума качества окружающей природной среды // Экономика и мат. методы. 1981. Т. XVII. Вып. 3.
2. Кречетов Л.И. Региональные системы экономического стимулирования природоохранной деятельности предприятий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1990. № 8.
3. Черникова Н.В. Алгоритм для нахождения общей формулы неотрицательных решений системы линейных неравенств // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1965. № 2.
4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Л.: Гидрометеоздат, 1987.

Поступила в редакцию
29 IV 1991