ПОБУДОВА, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКІВ ЕНЕРГОНОСІЇВ

УДК 621.311

М.Т. Стрелков, *канд.техн.наук, ст.науч.сотр. (Институт общей энергетики НАН Украины, Киев)*

НЕОКЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ РЫНКОВ ЭНЕРГИИ

Розроблено елементи неокласичної теорії регулювання структури ринків енергії, виходячи з основних положень неокласичної теорії ідентифікації їх структури. Виконано постановку та отримані рішення оптимізаційної задачі структурного регулювання в "статиці" та "динаміці". Як цільові функції використовуються функції індексів ринку, стосовно яких попередньо доведено лему єдності їх глобальних мінімумів. Можливості використання запропонованої теорії проілюстровано на прикладі ігрових ситуацій регулювання структури гіпотетичного ринку природного газу.

Разработаны элементы неоклассической теории регулирования структуры рынков энергии, исходя из основных положений неоклассической теории идентификации их структуры. Выполнена постановка и решена оптимизационная задача структурного регулирования в "статике" и "динамике". В качестве целевых функций использовались функции индексов рынка, для которых предварительно доказана лемма единства их глобальных минимумов. Возможности применения предложенной теории проиллюстрированы на примере игровых ситуаций регулирования структуры гипотетического рынка природного газа.

Исходные понятия и аксиомы неоклассической теории

Неоклассическая теория регулирования структуры рынков энергии использует в качестве исходных нижеследующие понятия неоклассической теории идентификации их структуры [1]:

N-мерные векторы прямых R и обратных R^{-1} одноименных (равнопорядковых) рангов всех N участников рынка (фирм), формализуемых соответственно транспонированной матрицей-столбцом прямых $M_{dir}=\{a_{j1}=\text{rang}(j)\}_{j=(1\div N)}$ и матрицей-строкой обратных $M_{inv}=\{a_{1j}=\text{rang}^{-1}(j)\}_{j=(1\div N)}$ рангов фирм, где j=(1÷N) - индексы фирм;

интегральные характеристики участников (см. табл.1) и индексы (см. табл.2) рынка, однозначно определяемые интегрально-матричной моделью идентификации структуры рынка в виде квадратической, размера N×N, вырожденной матрицы $M_{ms}=M_{dir}\cdot M_{inv}=\{a_{ji}=\text{rang}(j)/\text{rang}(i)\}_{j,i=(1\div N)}$, охватывающей всё поле, или пространство рынка, где k>0 - некоторая константа, зависящая от ранга или накладываемых ограничений;

структурная классификация моделей рынков энергии на однородный (симметричная структура) и неоднородный (асимметричная структура), лидирующей (умеренная асимметрия структуры) и доминирующей (сильная асимметрия структуры) фирм.

Пространство, или поле рынка в рамках рассматриваемой неоклассической теории регулирования структуры рынков энергии наделено определенными свойствами, отраженными в четырёх нижеследующих аксиомах.

Аксиома полноты: регулирующий орган (далее - регулятор), когда предметом его рассмотрения являются пара участников рынка или две прогнозируемые на рынке ситуации, всегда отдаст предпочтение одному из участников или одной из ситуаций или посчитает их равноценными, используя в качестве критериев интегральные характеристики участников (см. табл.1) или индексы (см. табл.2) рынка.

На примере двух фирм, след которых Tr_j и Tr_i, это выглядит следующим образом: $Tr_j>Tr_i$ - доминирование j-ой фирмы; $Tr_j\geq Tr_i$ - лидирование j-ой фирмы; $Tr_j=Tr_i$ - эквивалентность фирм.

Аксиома полноты наделяет регулятора свойством дифференцировать любые пары участников рынка или ситуаций, прогнозируемых на сравниваемых (локальных или региональных) или рассматриваемом (локальном или региональном) рынке однотипного товара через произвольные (выборочные) или заданные (фиксированные) временные интервалы.

Аксиома транзитивности: ранжирование регулятором любого набора участников рынка или ситуаций, прогнозируемых на сравниваемых или рассматриваемом рынке, является последовательным.

На примере трёх возможных ситуаций, прогнозируемых на рассматриваемом рынке и ранжируемых регулятором по индексу неоднородности $I_{MH(1)}$, $I_{MH(2)}$ и $I_{MH(3)}$, это выглядит следующим образом: если $I_{MH(1)}>I_{MH(2)}$, а $I_{MH(2)}>I_{MH(3)}$, то $I_{MH(1)}>I_{MH(3)}$, что означает наибольшую степень неоднородности рынка при реализации первой прогнозируемой ситуации.

Аксиома транзитивности позволяет исключить непостоянство предпочтений регулятора, приводящее к неоднозначности принятых решений.

Аксиома поведения фирмы (аксиома доминирования): любой участник рынка в своём развитии предпоч-

Таблица 1. Интегральные характеристики фирм

Характеристика	Запись в общем виде	$\Sigma_{j=(1\div N)}$rang(j)-k=0
прямой вес W_{rj}	$\mathrm{rang}(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/N^2$	$\mathrm{rang}(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/N^2$
инверсный вес W_{cj}	$\mathrm{rang}^{-1}(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)/N^2$	$\mathrm{rang}^{-1}(j)\cdot k/N^2$
след Tr_j	$\mathrm{rang}^2(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/$ $/(\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)\cdot N^2)$	$\mathrm{rang}^2(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/$ $/(k\cdot N^2)$

Таблица 2. Элементы множества индексов рынка

Индекс	Запись в общем виде	$\Sigma_{j=(1\div N)}$rang(j)-k=0
неоднородности I_{MH}	$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/N^2$	$k\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/N^2$
монополизации I_{MM}	$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/$ $/(\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)\cdot N^2)$	$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)\cdot$ $\cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/(k\cdot N^2)$
структуры I_{MSt}	$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)/(\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j))^2$	$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)/k^2$

тёт монополизировать рынок, используя принцип "хорошее - враг лучшего", что приведёт к увеличению степени неоднородности и монополизации рынка.

Аксиома доминирования подтверждает постоянное стремление фирмы к завоеванию на рынке лидирующей, доминирующей и монопольной позиций, что делает конкуренцию всё более несовершенной.

Аксиома поведения общества (аксиома благосостояния): регулятор в своей деятельности стремится (обязан) минимизировать степень неоднородности и монополизации рынка (демонополизировать рынок) с целью достижения оптимальных для общества экономических показателей.

Аксиома благосостояния подчёркивает стремление общества к минимизации затрат ресурсов на производство товаров и услуг как с целью экономии самих затрачиваемых ресурсов, так и с целью обеспечения доступности товаров и услуг более широкому кругу потребителей, включая выполнение принятых экологических и социальных обязательств.

Постановка задачи неоклассической теории структурного регулирования

Согласно аксиоме благосостояния и в противовес аксиоме доминирования деятельность регулятора направлена на демонополизацию рынка путём принятия решений, минимизирующих степень его неоднородности и монополизации, что ведёт к изменению структуры рынка в направлении рынка более совершенной конкуренции и в пределе должно сформировать абсолютно однородный рынок с естественной симметрией структуры.

Основываясь на четырёх вышесформулированных аксиомах, представим задачу структурного регулирования рынков энергии в общем виде как задачу оптимизации с ограничениями (задача условной оптимизации), в которой:

в качестве целевой функции $I_M(R)$ для поиска её минимального значения используется функция любого из элементов множества индексов рынка $A_s\{I_M(R)\}$ (см. табл.2),

$$I_M(R)\rightarrow\min,\ I_M(R)\in As\{I_M(R)\}=As\{I_{MH}(R),\ I_{MM}(R),\ I_{MSt}(R)\};\qquad(1)$$

все функции $I_M(R)$ элементов множества $As\{I_M(R)\}$ - действительные функции, как минимум две первые производные которых существуют и непрерывны всюду в области допустимых значений аргумента;

аргументом целевой функции является N-мерный вектор R=(rang(1), ..., rang(j)), компоненты которого - действительные величины, ограниченные снизу и сверху, т.е. $0<\mathrm{rang}(j)\leq k$;

компоненты вектора-аргумента R могут удовлетворять системе уравнений (ограничениям в виде равенств)

$$f_m(R)=0,\ m=(1\div M),\qquad(2)$$

формализующих, например, выполнение условия баланса рангов фирм, или набору неравенств (ограничениям в виде неравенств)

$$g_n(R)\geq0,\ n=(1\div N),\qquad(3)$$

накладываемых, например, регулятором на интегральные характеристики участников или индексы рынка.

Ограничения в виде равенств (2) или неравенств (3) могут быть прямыми, или естественными, независящими от регулятора, и косвенными, или искусственными, вводимыми регулятором. Так, например, в первом случае это может быть условие выполнения баланса для ранга фирм первого порядка "доля продаж", а во втором - устанавливаемые регулятором участникам рынка "квоты продаж", и т.п.

Каждое из решений оптимизационной задачи (1)÷(3) в рамках неоклассической теории предполагает рассмотрение двух вопросов [2]. Первый вопрос касается анализа в "статике": представляет ли полученный вектор R^* оптимальное решение? Второй вопрос относится к анализу в "динамике": если полученное решение R не является оптимальным, то какая последовательность действий приведёт к оптимальному решению R_{opt}?

Анализ функций множества индексов рынка при балансе рангов

Для ответа на поставленные вопросы первоначально сформулируем и докажем вспомогательную лемму о единстве экстремумов функций $I_M(R)$ элементов множества индексов рынка $As\{I_M(R)\}$, которая является основополагающей для получения решения задачи неоклассической теории структурного регулирования. Для наглядности изложения в условии баланса примем k=1, что соответствует целому ряду практических случаев.

Лемма единства глобальных экстремумов функций индексов рынка: функции всех элементов множества индексов рынка при любом числе его участников для рангов фирм, подчиняющихся балансу, достигают глобальных минимумов в единой совпадающей стационарной точке.

Доказательство: Поиск минимального значения функции индекса структуры рынка (см. табл.2) является оптимизационной задачей (1) с ограничениями в виде равенств (2), в которой естественным ограничением выступает условие баланса рангов:

$$I_{MSt}(R)=\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)\rightarrow\min, \tag{4}$$

$$f(R)=\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)-1=0. \tag{5}$$

Воспользовавшись методом множителей Лагранжа, преобразуем задачу с ограничениями (4)-(5) в эквивалентную задачу безусловной оптимизации:

$$L_{MSt}(R,\mathrm{v})=I_{MSt}(R)-\mathrm{v}\cdot f(R)= =\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)-\mathrm{v}\cdot(\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)-1),- \tag{6}$$

где L_{MSt}, v - функция и множитель Лагранжа соответственно.

Определим градиент функции (6) в виде матрицы-столбца:

$$\mathrm{grad}\,L_{MSt}(R,\mathrm{v})=\{a_{j1}=\partial L_{MSt}(R,\mathrm{v})/\partial\mathrm{rang}(j)= 2\mathrm{rang}(j)-\mathrm{v}\}_{j=(1\div N)}. \tag{7}$$

Приравняв компоненты матрицы-столбца (7) к нулю, найдём выражение для ранга j-ой фирмы:

$$\mathrm{rang}(j)=\mathrm{v}/2. \tag{8}$$

Подставив значение (8) в функцию ограничения (5), получим

$$\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{v}/2-1=0,$$

откуда v=2N, и с учётом (8) запишем решение задачи (4)-(5) в виде вектора:

$$R^*=\{\mathrm{rang}(j)=1/\mathrm{N},\ j=(1\div \mathrm{N})\}. \tag{9}$$

Для того чтобы проверить, соответствует ли стационарная точка с координатами (9) глобальному минимуму функции (4), убедимся в её выпуклости. Построим квадратическую, порядка N×N, матрицу Гессе функции Лагранжа (6):

$$H_{MSt}(R,\mathrm{v})=\{a_{ji}=\partial^2 L_{MSt}(R,\mathrm{v})/ /[\partial\mathrm{rang}(j)\cdot\partial\mathrm{rang}(i)]\}_{j,i=(1\div N)}=2\mathrm{E},- \tag{10}$$

где E - единичная матрица.

Матрица Гессе (10) является симметрической и диагональной, все элементы главной диагонали ($a_{j=i}$=2) и все ведущие главные определители (det H_{MSt}(j)=2^j) которой положительны. Таким образом, матрица (10) - положительно определённая матрица, а функция (4) - строго выпуклая функция. Следовательно, стационарная точка (9) определяет точку глобального минимума.

Заменим в оптимизационной задаче с ограничениями (4)-(5) индекс структуры рынка (4) индексом неоднородности рынка (см. табл.2):

$$I_{MH}(R)=\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/\mathrm{N}^2. \tag{11}$$

Построим функцию Лагранжа для задачи (11),(5):

$$L_{MH}(R,\mathrm{v})=I_{MH}(R)-\mathrm{v}\cdot f(R)=\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/ /\mathrm{N}^2-\mathrm{v}\cdot(\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}(j)-1),- \tag{12}$$

перейдя тем самым к задаче безусловной оптимизации. Найдём градиент функции (12):

$$\mathrm{grad}\,L_{MH}(R,\mathrm{v})=\{a_{j1}=-1/(\mathrm{rang}(j)\cdot\mathrm{N})^2-\mathrm{v}\}_{j=(1\div N)}. \tag{13}$$

Аналогично (7)-(9), приравняем элементы матрицы-столбца (13) к нулю, найдём ранг j-ой фирмы:

$$\mathrm{rang}(j)=(-1/\mathrm{v})^{1/2}/\mathrm{N},- \tag{14}$$

и, воспользовавшись условием баланса (5), получим значение множителя Лагранжа v=-1, подставив которое обратно в равенство (14), прийдём к ранее полученному решению (9).

Построив матрицу Гессе для функции Лагранжа (12) и записав её главные определители:

$$H_{MH}(R,\mathrm{v})=2E/(\mathrm{rang}^3(j)\cdot N^2),$$

$$\det H_{MH}(j)=[2/(\mathrm{rang}^3(j)\cdot\mathrm{N}^2)]^j,-$$

приходим к выводу, что функция (11) является строго выпуклой, а стационарная точка с координатами (9) - точкой её глобального минимума.

Функции индексов (4) и (11) достигают глобальных минимумов в единой совпадающей стационарной точке с координатами (9). Так как функция индекса монополизации рынка (см. табл.2) равна произведению функций индексов (4) и (11):

$$I_{MM}(R)=I_{MSt}(R)\cdot I_{MH}(R)=\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^2(j)\cdot \cdot\Sigma_{j=(1\div N)}\mathrm{rang}^{-1}(j)/N^2,- \tag{15}$$

то её глобальный минимум будет совпадать с одноименными экстремумами определяющих её сомножителей в стационарной точке с координатами (9), что и требовалось доказать.

Непосредственно из леммы единства следует, что функции (4), (11), (15) множества элементов индексов рынка $As\{I_M(R)\}$ - унимодальные функции, ибо стационарная точка с координатами (9) является точкой глобального и единого минимума в области допустимых значений вектора-аргумента R, для координат которой всегда справедливо неравенство

$$As\{I_M(R \neq R^*)\} > As\{I_M(R^*)\}. \qquad (16)$$

Решение задачи неоклассической теории структурного регулирования

Первое правило регулятора (регулирование "без ограничений"): решением в "статике" задачи неоклассической теории структурного регулирования рынков энергии с любым произвольным числом участников является структура однородного рынка с естественной симметрией.

Доказательством первого правила регулятора непосредственно является лемма единства экстремумов функций индексов рынка. Согласно лемме, при наличии одного (m=1) и более (m≥1) естественных ограничений в виде равенств (2), глобальные минимумы функций элементов множества индексов (1) не только существуют, но и совпадают в стационарной точке, координаты (9) которой соответствуют однородному рынку с естественной симметрией структуры: $I_{MH}(R^*)=1$, $I_{MM}(R^*)=I_{MSt}(R^*)=1/N$ [1]. Первое правило регулятора справедливо для любого числа участников рынка (N=var), причём, чем их больше, тем более совершенна конкуренция.

Так как уравнение баланса (5), представляющее собой ограничение в виде равенства (2), можно разрешить относительно любого компонента вектора-аргумента R, то, применив метод исключения переменных, перейдём к задаче безусловной оптимизации без ограничений при любом произвольном числе участников рынка. Это позволяет рассматривать первое правило регулятора как правило регулирования без искусственных ограничений, или просто "без ограничений". Иными словами, первое правило, с одной стороны, является идеализированным, но, с другой стороны, в рамках микроэкономической теории трактуется как "невидимая рука" рынка, ведущая к модели рынка совершенной конкуренции при отсутствии барьеров для вхождения и выхода из рынка.

Наличие искусственных ограничений, накладываемых регулятором, напри-мер, на ранги фирм, смещает координату стационарной точки (9) на ΔR и заранее исключает возможность получения оптимального решения (глобального минимума), так как неравенство

$$I_M(R^*+\Delta R) \neq I_M(R^*)$$

выполняется всегда вследствие свойства унимодальности функций элементов множества (16). Это требует проведения дополнительного анализа в "динамике" с целью определения последовательности действий для получения оптимального решения $R=R_{opt}$ при существующих ограничениях [2].

Второе правило регулятора (регулирование "с ограничениями"): решением в "динамике" задачи неоклассической теории структурного регулирования рынков энергии с любым фиксированным числом участников является структура неоднородного рынка, нерегулируемая часть которого отвечает структуре однородного рынка с естественной симметрией структуры.

Доказательство второго правила регулятора выполним для любого фиксированного числа участников рынка (N=const) при наличии произвольного набора естественных (m≥1) и искусственных (n≥1) ограничений в виде равенств (2) и неравенств (3), предполагая, что хотя бы одно из введённых ограничений исключает возможность получения положительного ответа на вопрос анализа в "статике".

Для этого рассмотрим случай, когда существует m+1 ограничение в виде равенств (2), среди которых только одно естественное $f_1(R)$, определяющее, например, условие баланса рангов (5), и m искусственных типа:

$$f_{m+1}(R)=\mathrm{rang}(j)-k_j=0,\ 0<k_j<1,\ m=j=1 \div n<N, - \qquad (17)$$

наложенных регулятором на ранги n<N фирм при неизменном числа N=const участников рынка. Решение задачи (4), (5), (17) в "динамике" найдём следующим образом. Во-первых, просуммируем все искусственные ограничения (17) и вычтем результат из условия баланса рангов (5):

$$f(R)=f_1(R)-\Sigma_{m=1 \div n} f_{m+1}(R)=\Sigma_{j=(n+1 \div N)}\mathrm{rang}(j)-k=0, \qquad (18)$$

$$k=1-\Sigma_{j=(1 \div n)}k_j;$$

во-вторых, целевую функцию (4) представим в виде двух слагаемых:

$$I_{MSt}(R)=\Sigma_{j=(1 \div n)}k_j^2+\Sigma_{j=(n+1 \div N)}\mathrm{rang}^2(j) \to \min, - \qquad (19)$$

разделяющих учатников рынка на регулируемые, подпадающие под ограничения (17) (фиксированные координаты вектора R) и нерегулируемые, на которые не распространяются ограничения (17) (переменные координаты вектора R); в-третьих, представим задачу (4)-(5) в виде модели (18)-(19).

Как и при доказательстве леммы единства, воспользуемся методом множителей Лагранжа и преобразуем задачу с ограничениями (18)-(19) в эквивалентную задачу безусловной оптимизации:

$$L_{MSt}(R, v)=\Sigma_{j=(1 \div n)}k_j^2+ \\ +\Sigma_{j=(n+1 \div N)}\mathrm{rang}^2(j)-v \cdot (\Sigma_{j=(n+1 \div N)}\mathrm{rang}(j)-k)=0, - \qquad (20)$$

решив которую, получим вектор прямых рангов фирм, определяющий стационарную точку с координатами:

$$R_{opt}=\{\mathrm{rang}(j)=k_j,\ j=(1 \div n); \\ \mathrm{rang}(j)=k/(N-n),\ j=((n+1) \div N)\}. \qquad (21)$$

Матрица Гессе функции Лагранжа (20) - симметрическая положительно полуопределённая матрица, все элементы главной диагонали и все ведущие главные определители которой неотрицательны. Следовательно, функция (20) - выпуклая унимодальная функция, а стационарная точка (21) - точка глобального минимума.

Решение, аналогичное (21), получим при использовании в целевой функции (19) вместо индекса структуры индекс неоднородности рынка (11), что обеспечит тот же результат при минимизации индекса монополизации рынка (15).

Отличие решения в "статике" (9) от решения в "динамике" (21), или первого и второго правил регулятора (регулирования) состоит в том, что для всех целевых функций (1), составленных из элементов множества $As\{I_M(R)\}$, при любых значениях вектора-аргумента R всегда справедливо неравенство

$$I_M(R_{opt})>I_M(R^*), \qquad (22)$$

являющееся частным случаем (16). Иными словами, второе правило заранее предполагает отрицательный ответ на вопрос анализа в "статике" из-за вводимых регулятором искусственных ограничений, сокращение числа которых в пределе изменит в знак неравенства (22) на знак равенства и трансформирует второе правило регулятора в первое.

Стуационно-игровая модель структурного регулирования рынка энергии

Рассмотрим гипотетический, локальный рынок энергии, на котором товаром является природный газ. Функционирующая на рынке фирма - естественный монополист по транспортировке, распределению и реализации газа, полностью обеспечивает спрос как за счёт собственной добычи (от 40% до 80%), так и закупок на соседних рынках (от 20% до 60%). Рынок является однородным, искусственно симметричным, для структуры которого характерно: $I_{MH}=I_{MM}=I_{MSt}=1$ [1].

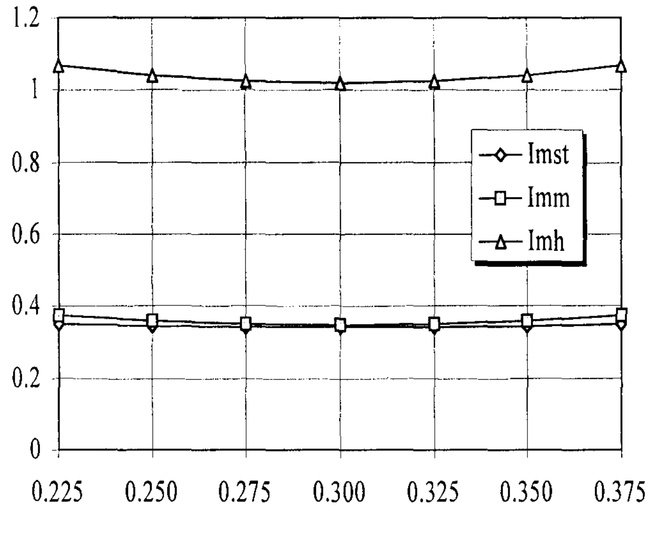
Предположим, что рынок будет демонополизирован. Регулирующему органу необходимо оценить эффективность вводимых стартовых условий процесса демонополизации. В качестве переменных компонент вектора-аргумента R регулятор использует, например, ранг фирм первого порядка "доля продаж" (rang(j)=MS_j), подчиняющийся условию баланса (5) как естественному ограничению в виде равенства (2).

Число участников рынка, получивших лицензии, увеличивается. Транспортный провайдер рынка создаётся на базе существующей фирмы и остаётся в рамках естественной монополии, получая лицензию на транспортировку и распределение газа. Число трейдеров рынка, имеющих лицензии на закупку и реализацию природного газа, увеличивается до трёх (N=3) и остаётся фиксированным. Это является искусственным ограничением в виде равенства (2), обеспечивающим переход к неоднородному рынку с искусственной асимметрией структуры. При этом один трейдер, созданный на базе ранее существующей фирмы, получает лиценцию на собственную добычу природного газа в данном регионе.

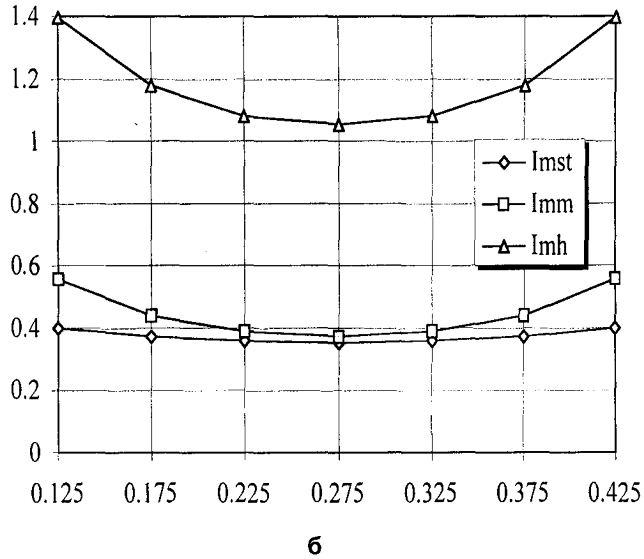
С целью обеспечения, например, бюджетной сферы, комунально-бытового сектора и населения в первую очередь природным газом собственной добычи, первой фирме устанавливается минимальная квота продаж MS_{1min} в объёме собственной добычи (искусственное ограничение (17) в виде равенства (2)). Оставшимся фирмам с учётом достаточности MS_{1min} определяются равные минимальные квоты продаж природного газа $MS_{2min}=MS_{3min}$ для тех же целей (искусственное ограничение в виде неравенства (3)).

Согласно введенным ограничениям регулятор получает задачу структурного регулирования (18)-(19) в "динамике" (регулирование с "ограничениями"), что формализуется моделью:

$$\begin{gathered} I_M(\mathbf{R})\to\min,\ I_M(\mathbf{R})\in As\{I_M(\mathbf{R})\}, \\ \mathbf{R}=\{MS_j,\ j=(1\div3)\},\ \Sigma_{j=(1\div3)}MS_j=1,\ MS_j=var, \\ MS_1\geq MS_{1min},\ MS_2\geq MS_{2min},\ MS_3\geq MS_{3min}, \\ MS_{1min}=const,\ MS_{2min}=MS_{3min}=const. \end{gathered} \qquad (23)$$



а



б

Рис.1

Графики изменений функций индексов рынка множества $As\{I_M(R)\}$ в задаче (23) для шести гипотетических ситуаций, которые могут сложиться на рынке, показанны на рис.1-3. Каждая из ситуаций отличается накладываемыми искусственными ограничениями:

1) MS_1=MS_{max}=0,4, MS_{2min}=MS_{3min}=0,225, рис.1,а;

2) MS_1=MS_{max}=0,45, MS_{2min}=MS_{3min}=0,125, рис.1,б;

3) MS_1=MS_{max}=0,5, MS_{2min}=MS_{3min}=0,05, рис.2,а;

4) MS_1=MS_{max}=0,6, MS_{2min}=MS_{3min}=0,05, рис.2,б;

5) MS_1=MS_{max}=0,7, MS_{2min}=MS_{3min}=0,05, рис.2,в;

6) MS_1=MS_{max}=0,8, MS_{2min}=MS_{3min}=0,025, рис.3, -

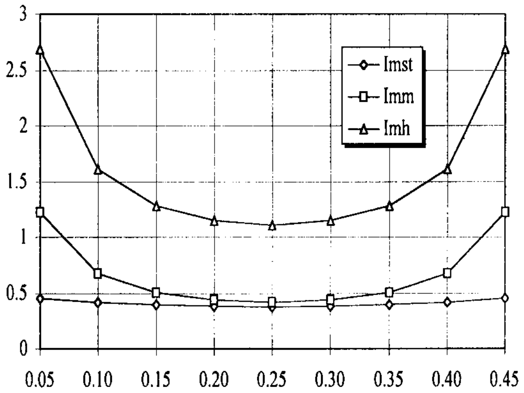
где доля продаж MS_1 постоянна и максимальна (последнее введено для наглядности), а величины MS_2<MS_1 и MS_3<MS_1 изменяются с дискретным шагом 0,025 или 0,05, равным минимальной квоте.

Графики функций рис.1-3 элементов множества $As\{I_M(R)\}$ имеют явно выраженные глобальные минимумы в единой совпадающие стационарной точке (21). В этой точке обеспечивается равенство MS_2=MS_3, что соответствует моменту достижения нерегулируемой частью неоднородного рынка структуры однородного. При нарушении равенства MS_2=MS_3, например увеличении модуля разности $|MS_2-MS_3|$, индексы рынка принимают большие численные значения (см. неравенство (16)). Это ведёт к увеличению степени монополизации рынка. И наоборот, чем меньше модуль разности $|MS_2-MS_3|$, тем менее неоднороден рынок.

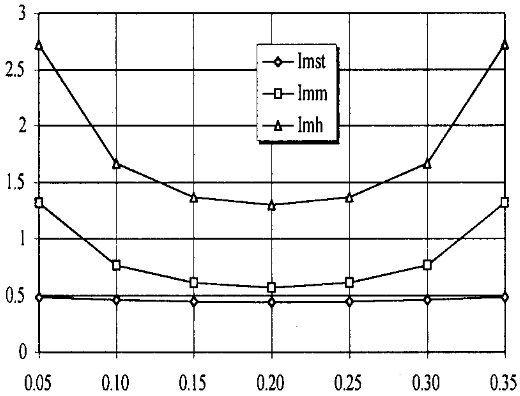
Первая и вторая игровые ситуации (см. рис.1.а,б) отвечают модели рынка лидирующей фирмы, или неоднородного рынка с умеренной асимметрией структуры ($1/N$<I_{MM}<1). В обоих случаях первая фирма всегда остаётся лидирующей независимо от распределения оставшейся доли продаж. Шестая игровая ситуация (см. рис.3) противоположна первым двум и соответствует модели рынка доминирующей фирмы, т.е. неоднородного рынка с сильной асимметрией структуры, т.к. I_{MM}>1 при любом распределении доль продаж между другими фирмами. Модель неоднородного рынка также имеет место в трёх ситуациях на рис.2.а,б,в, но в зависимости от распределения доль продаж между второй и третьей фирмами относится к модели рынка доминирующей или лидирующей фирмы. С точки зрения регулирования шестая ситуация - наихудшая, первая - наилучшая, остальные - промежуточные, хотя во всех случаях рынок продолжает оставаться неоднородным (I_{MH}>1, I_{MM}>$1/N$, 0<I_{MSt}<1).

Для полноты анализа число участников рынка, величины минимальных квот, включая перераспределение объёмов газа собственной добычи, могут меняться регулятором в объективно допустимых пределах. Конечной целью регулирования задачи (23) может быть структура неоднородного рынка со слабой асимметрией структуры, когда I_{MH}>1, I_{MM}>$1/N$, 0<I_{MSt}<<1. В пределе регулятором могут быть созданы условия для формирования однородного рынка с искусственной симметрией структуры, когда I_{MH}=1, I_{MM}=I_{MSt}=$1/N$.

а



б



в

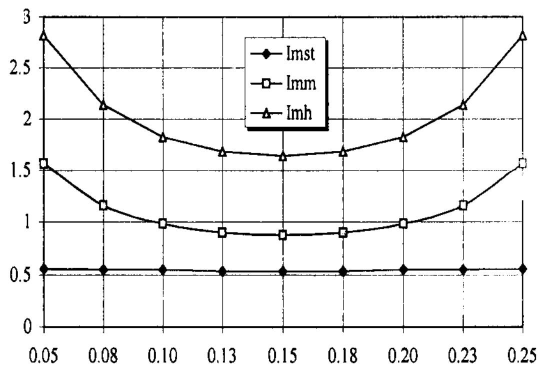


рис.2

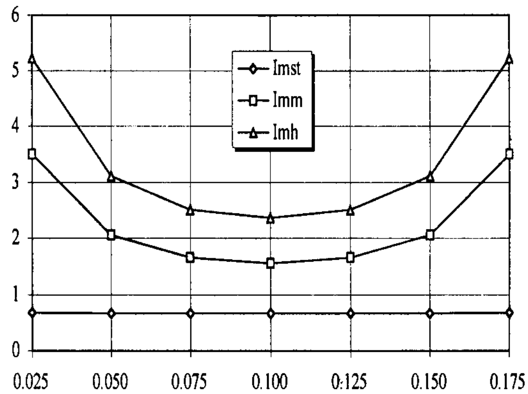


рис.3

1. Стрелков М.Т. Неоклассическая теория идентификации структуры рынков энергии // Проблемы общей энергетики. - 2000. - №2. - С.30-35.

2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 349 с.