

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ СТРАТЕГИЙ НА ЧАСТИЧНО РЕГУЛИРУЕМОМ СУБРЫНКЕ

**В.Н. ВАНИН<sup>1</sup>**  
**В.А. ЛОМАЗОВ<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> *Общество с ограниченной ответственностью «Сайнер»*  
<sup>2)</sup> *Белгородская государственная сельскохозяйственная академия*

**e-mail:**  
**Vanin\_VN@Sciener.ru;**  
**vlomazov@yandex.ru**

В статье предложен теоретико-игровой подход к выбору стратегий на субрынках однородных товаров, основанный на предварительном имитационном моделировании состояний рынка.

Ключевые слова: регулирование, субрынок, информационная модель, принятие решений, имитационное моделирование.

Развитие рыночных механизмов оставляет возможность внешнего как макро-, так и микроэкономического регулирования, получившего в настоящее время наибольшее распространение в таких областях, как производство и распределение общественных благ, продовольственный рынок, рынок труда, рынок сырья и энергоресурсов, финансово-кредитная сфера и др. Необходимость регулирования связана не только с особенностями развивающихся экономик, но (в ряде случаев) и с принципиальной неспособностью некоторых рынков к саморегуляции, что вызывает кризисные явления даже в экономиках развитых стран.

В настоящее время при анализе рынков наибольшее применение получили методы экономико-математического моделирования. При исследовании централизованно управляемых рынков используются методы оптимального планирования и управления [1]. Анализ нерегулируемых рынков производится методами теории игр [2, 3]. Инструментальный аппарат исследования регулируемых (частично регулируемых) рынков с разным уровнем и механизмом регулирования предполагает комплексное использование различных подходов и развит еще не достаточно, что предопределяет актуальность темы работы. Рассматриваемая задача состоит в разработке инструментальных средств выбора рациональной стратегии участника (продавца или покупателя) на частично регулируемом оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Существующий в России в настоящее время оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) представляет собой характерный пример частично-регулируемого рынка. В ходе прошедших реформ ([4,5]) РАО ЕЭС России, являвшееся ранее монополистом в сфере электроэнергетики, было реструктуризировано и появились отдельные участники рынка: сбытовые, сетевые и генерирующие компании. Несмотря на заявленную полную либерализацию ОРЭМ, государственное влияние на этом рынке остается значительным.

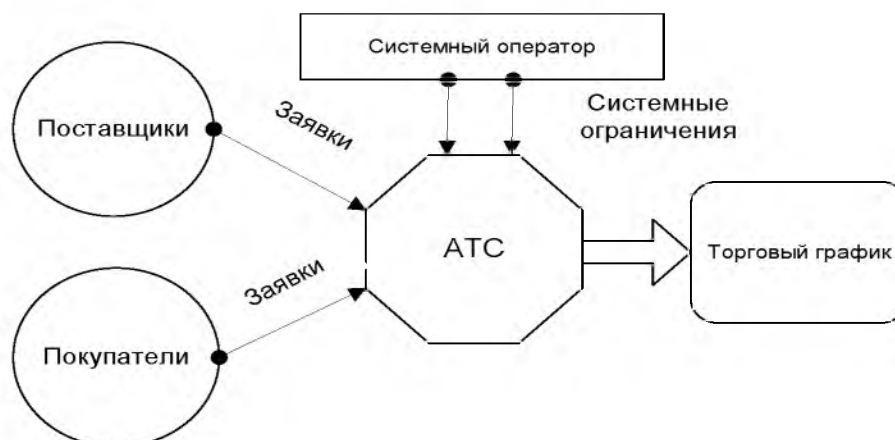


Рис 1. Схема оптового рынка электроэнергии и мощности

Используемое на энергетическом рынке на сутки вперёд (РСВ) и на балансирующем рынке (БР) регулирование заключается в наличии специального органа - администратора торговой системы (АТС), назначающего на основе ценовых заявок участников рынка единую цену и объемы



продаж. При этом используются специальные алгоритмы, которые в какой-то степени соответствуют рыночным механизмам (например, на РСВ осуществляется маргинальное ценообразование, т.е. цена определяется путем балансирования спроса и предложения и распространяется на всех участников рынка [5]), но, все же, ограничивают рыночные отношения на ОРЭМ. Необходимость ограничений связана со спецификой электроэнергетики, как особого (например, в плане транспортировки и хранения) товара. В частности, АТС в рамках своей регулирующей деятельности использует (во избежание перегрузки сети, либо падения напряжения) расчетную модель энергосистемы на основе информации, предоставляемой системным оператором энергосети.

Ограничимся рассмотрением регионального субрынка электроэнергии и мощности, характеризующегося сравнительно небольшим числом продавцов и основных покупателей. В качестве информационной модели субрынка рассмотрим кортеж:

$$Mar = \langle Sel, Cust, Reg, F_p, F_v, Cond_{ext}, T \rangle \quad (1)$$

где *Mar* (market) – рынок, *Sel* (sellers) – продавцы, *Cust* (customers) – покупатели, *Reg* (regulator) – регулятор рынка, *F<sub>p</sub>* (price function) – функция цены, описывающая правила ценообразования на рынке, *F<sub>v</sub>* (volume function) – функция объема, описывающая правила формирования значения объема электроэнергии, продаваемого за рассматриваемый временной период, *Cond<sub>ext</sub>* (extreme conditions) – особые условия формирования единой цены, связанные с выходом из строя электрооборудования, обрыв или перенасыщения линий электропередач, *T* – рассматриваемый временной период.

Совокупности продавцов *Sel* и покупателей *Cust* представлены в виде:

$$Sel = \langle Sel_1, Sel_2, \dots, Sel_n \rangle, \quad Cust = \langle Cust_1, Cust_2, \dots, Cust_m \rangle \quad (2)$$

где *Sel<sub>i</sub>* – отдельный продавец (*i=1,2,...,n*), *Cust<sub>j</sub>* – отдельный покупатель (*j=1,2,...,m*), а *n* и *m* – количество продавцов и покупателей на рынке, соответственно.

Отдельный продавец (покупатель) представляет собой кортеж:

$$Sel_i = \langle Str_i, Opt_i, Pow_i \rangle, \quad Cust_j = \langle Str_j, Opt_j, Dem_j \rangle \quad (3)$$

где *Str<sub>i</sub>* (strategy): *Str<sub>i</sub>=(Str<sub>i1</sub>, Str<sub>i2</sub>, ..., Str<sub>ik</sub>)* – набор возможных стратегий участника рынка, *Opt* (optimism) – мера рыночного оптимизма, которая отражает субъективную оценку участником своей роли на рынке и может принимать значения, от 0 (позиция крайнего пессимизма) до 1 (позиция крайнего оптимизма), *Pow* (power) – имеющаяся у продавца энергетическая мощность; *Dem* (demand) – объем энергетической потребности покупателя.

Стратегия участника представляется в виде:

$$Str_i = \langle B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ir} \rangle, \quad B_{ir} = \langle p_{ir}, v_{ir} \rangle \quad (4)$$

где *B<sub>ir</sub>* (bid) – заявка на торгах, включающая в качестве основных параметров цену *p<sub>ir</sub>* и объем *v<sub>ir</sub>* продаваемой (покупаемой) электроэнергии, а *r<sub>i</sub>* – количество заявок в составе стратегии *Str<sub>i</sub>*.

Иерархическая информационная модель (1)-(4), несмотря на явно упрощенный характер, отражает все основные характеристики частично регулируемого субрынка, необходимые для принятия решения о выборе стратегии.

Будем полагать, что участник рынка генерирует совокупность своих возможных стратегий на основе своих заявок на предыдущий период, сохраняя (увеличивая или уменьшая на величины  $\Delta p_{ir}, \Delta v_{ir}$ ) цены и объемы. Таким образом, каждая из предыдущих заявок *B<sub>ir</sub>* (*old*) может породить девять новых *B<sub>ir</sub>* (*new*) в соответствии с правилом:

$$B_{ir}(\text{new}) = \langle p_{ir}(\text{old}) + a_p \Delta p_{ir}, v_{ir}(\text{old}) + a_v \Delta v_{ir} \rangle, \quad a_p, a_v = \{-1, 0, 1\}.$$

Значения  $\Delta p_{ir}, \Delta v_{ir}$  выбираются, исходя из конкретной задачи. Теоретически возможное порождение большего числа новых заявок за счет рассмотрения нескольких величин изменений параметров заявки  $\Delta_1 p_{ir}, \Delta_1 v_{ir}, \Delta_2 p_{ir}, \Delta_2 v_{ir}, \dots$  практически неоправданно, поскольку приводит к излишне большому количеству возможных стратегий. Использование предложенного правила приводит к порождению совокупности из  $d=9^r$  новых стратегий, где *r* – количество заявок, входившей в состав предыдущей стратегии, что соответствует возможности решения задачи выбора.

Будем полагать, что остальные участники рынка в результате подачи своих заявок формируют несколько возможных состояний рынка *M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, ..., M<sub>s</sub>*. Обозначим *A=(A<sub>ij</sub>)* матрицу, компоненты которой равны прибыли рассматриваемого участника рынка при выборе им стратегии *Str<sub>i</sub>* в ситуации, когда рынок находится в состоянии *M<sub>j</sub>*. Наряду с матрицей игры *A* будем рассматривать также матрицу рисков *R=(R<sub>ij</sub>)*, компоненты которой определяются по формуле:  $R_{ij} = \max_{j=1,s} (A_{ij}) - A_{ij}$

Выбор стратегии предлагается осуществлять на основе взвешенного интегрального критерия

$$Cr = \alpha_1 H_A + \alpha_2 H_R + \alpha_3 B_A + \alpha_4 B_R, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1, \quad \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \geq 0$$

где в качестве частных критериев выступают широко используемые в теории принятия решений [3] критерии пессимизма-оптимизма Гурвица *H<sub>A</sub>, H<sub>R</sub>*:



$$H_A = \max_{i=1,d} \{h \max_{j=1,s} (A_{ij}) + (1-h) \min_{j=1,s} (A_{ij})\}, \quad H_R = \max_{i=1,d} \{h \max_{j=1,s} (R_{ij}) + (1-h) \min_{j=1,s} (R_{ij})\} \quad (5)$$

и критерии Байеса  $B_A, B_R$ :

$$B_A = \max_{i=1,d} \left\{ \sum_{j=1}^n A_{ij} p_j \right\}, \quad B_R = \min_{i=1,d} \left\{ \sum_{j=1}^n R_{ij} p_j \right\} \quad (6)$$

записанные для матрицы игры и матрицы рисков.

Рассмотренные критерии (5),(6) содержат в качестве параметров меру оптимизма  $h: 0 \leq h \leq 1$  (критерии Гурвица) и вероятности состояний рынка  $p_j: p_1 + p_2 + \dots + p_s = 1, p_j \geq 0$  (критерии Байеса). Это позволяет построить иерархию критериев, рассматривая в качестве критериев нижнего уровня критерии с конкретными значениями параметров. Так, например, взвешенный критерий Гурвица для матрицы игры можно представить в виде:

$$H_A = \beta_1 H_{A(h=h_1)} + \beta_2 H_{A(h=h_2)} + \dots + \beta_l H_{A(h=h_l)} \quad \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_l = 1, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_l \geq 0$$

где  $h_1, h_2, \dots, h_l$  – фиксированные значения параметра Гурвица.

Применяемая для выбора стратегии идеология метода анализа иерархий [6,7], предусматривает использование метода парных сравнений для построения весовых коэффициентов. При этом предполагается предварительное экспертное оценивание значимости критериев (5),(6) по шкале Саати и последующая обработка полученной матрицы парных сравнений на основе степенной калибровки.

Определение матрицы игры  $A$  (матрицы рисков  $R$ ) производилось методами имитационного моделирования. Построенная в системе *Pilgrim* имитационная модель ОРЭМ представлена на рис. 2, на котором отображены основные компоненты модели: «Заявки покупателей» (узел  $P_{118}$ ), «Заявки генераторов» (узел  $P_{117}$ ), «Факторы, влияющие на рынок» (узел  $P_{120}$ ), «Оптовый рынок электроэнергии» (узел  $P_{110}$ ). Вычислительные эксперименты проводились при  $r=3$ , что соответствует наличию у рассматриваемого участника рынка  $d=729$  возможных стратегий (строк матрицы игры). Кластеризация (проводимая аналогично [8]) совокупности возможных состояний рынка (столбцов матрицы игры) позволила уменьшить их число до  $s=3$  ( $M_1$ - развивающийся рынок,  $M_2$ - стабильный рынок,  $M_3$ - сокращающийся рынок) привело к необходимости проведения  $729 \times 3 = 2187$  вычислительных экспериментов (по числу компонентов матрицы игры). Случайный фактор в каждом эксперименте проявлялся в варианте изменения температуры воздуха по сравнению с предыдущим периодом, что (как показано в [9]) существенно влияет на объем потребления электроэнергии.

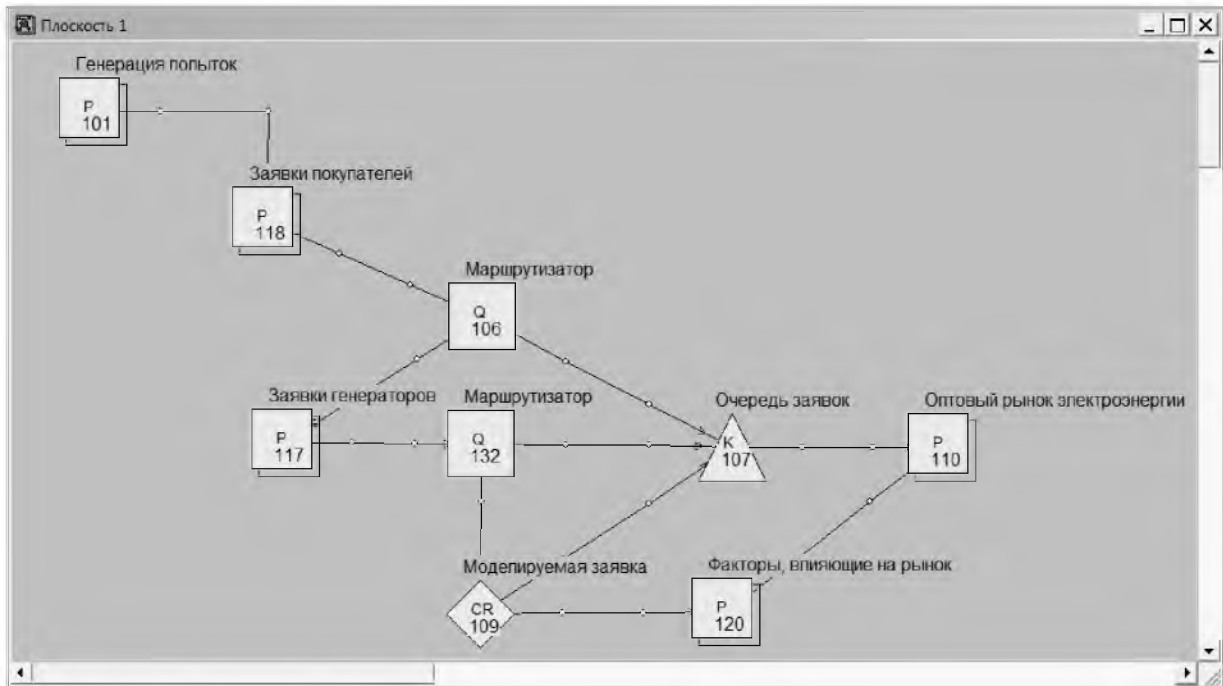


Рис 2. Фрагмент имитационной модели ОРЭМ

На основе предложенного подхода разработана система поддержки принятия решений (СППР), схема которой приведена на рис. 3.

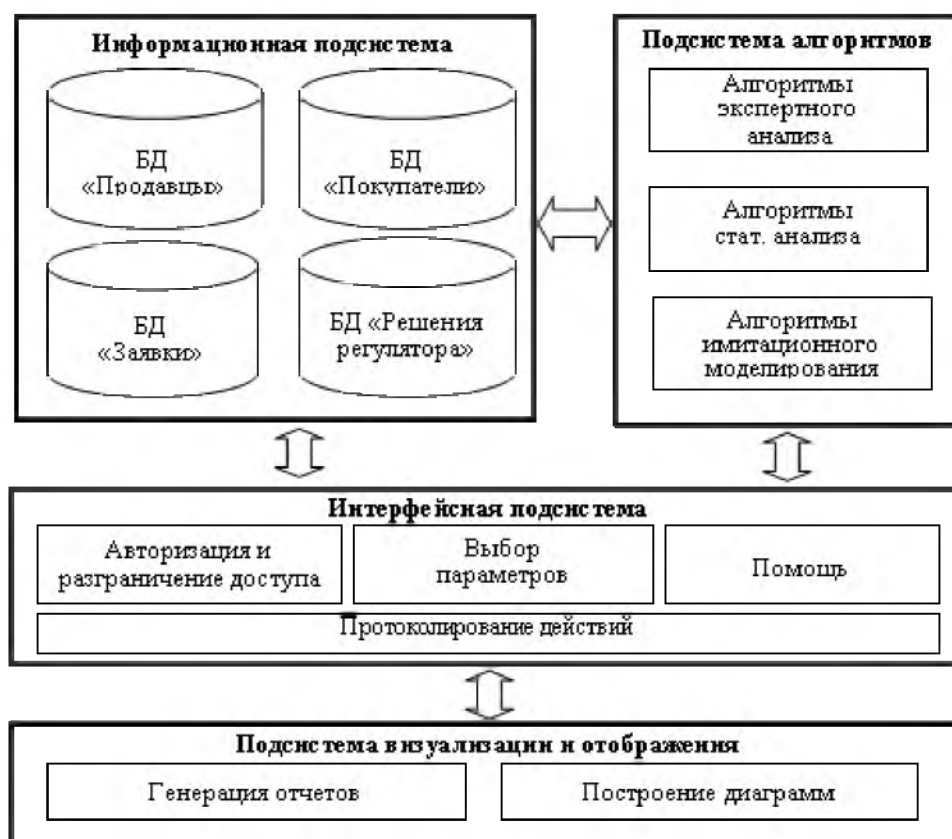


Рис 3. Схема системы поддержки принятия решений участника ОРЭМ

Предварительные результаты опытной эксплуатации исследовательского прототипа СППР свидетельствуют об эффективности предложенного подхода и возможности создания на его основе инструмента для поддержки принятия решений участников частично регулируемого рынка. При этом выявлена целесообразность автоматизированного определения нескольких рациональных стратегий, оставив окончательный выбор лицу, принимающему решения и имеющему свои неформализуемые предпочтения.

#### Список литературы

1. Акинин, П.В. Математические и инструментальные методы экономики/ П.В. Акинин. - М.: КноРус, 2012.- 232 с.
2. Васин, А.А. Теория игр и модели математической экономики/ А.А. Васин, В.В. Морозов. - М.: Макс-пресс, 2005. - 278 с.
3. Яценко, Н.А. Теория игр в экономике / Н.А. Яценко.- М.: КноРус, 2011.- 264 с.
4. Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2011 года № 1179 «Об определении и применении гарантирующими поставщиками нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность)».
5. <http://www.pr-sr.ru/porem/markets/wholesalemarket/#1>.
6. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Т. Саати.- М.: Радио и связь, 1993. - 278 с.
7. Ломазов, В. А Решение задачи экономического многокритериального выбора на основе метода анализа иерархий/ В. А. Ломазов, Я. Е. Прокушев //Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. Т. 7. № 14-1-1. С. 128-131.
8. Жилияков, Е.Г. Компьютерная кластеризация совокупности аддитивных математических моделей взаимосвязанных процессов/ Е.Г. Жилияков, В.И. Ломазова, В.А. Ломазов //Вопросы радиоэлектроники. 2011. № 1. С. 115-119.
9. Ванин, В.Н. Корреляционный и регрессионный анализ ОРЭМ/ В.Н. Ванин//Бюллетень научных работ – Белгород – изд-во БелГСХА. 2011. Вып. 28. С. 102-116.



## **TOOL DECISION SUPPORT CHOICE OF STRATEGIES TO PARTIALLY CONTROLLED SUBMARKET**

**V.N. VANIN<sup>1</sup>**  
**V.A. LOMAZOV<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> *ООО «Sciener»*

<sup>2)</sup> *Belgorod State Agricultural  
Academy*

*e-mail:*

*vanin\_vn@sciener.ru;*

*vlomazov@yandex.ru*

The authors propose a game-theoretic approach to the choice of strategies in the submarkets of homogeneous goods, based on the preliminary simulation market conditions.

Keywords: regulation, submarket, information model, decision making, simulation.