

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ В РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ ИХ СТОИМОСТИ**

**Е.В. Гальперова, Ю.Д. Кононов, О.В. Мазурова**

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН*

### **Аннотация**

Предлагается методический подход к оценке спроса на топливо и энергию при разработке долгосрочных стратегий развития топливно-энергетического комплекса России и ее макрорегионов. Особое внимание уделяется ценовой эластичности спроса на энергоносители, учет которой в прогнозах актуален, так как в рыночной экономике цена и спрос взаимосвязаны. Предлагаемый подход применен для оценки спроса на газ восточных районов страны.

**Ключевые слова:** оценка, спрос, эластичность, сценарии развития, энергоносители, ТЭК, макрорегион, прогноз, модели

Прогнозирование спроса на топливно-энергетические ресурсы является многоэтапным и многоуровневым процессом, результаты которого используются как для определения рациональной стратегии развития ТЭК страны (задача верхнего уровня), так и для разработки схем топливо- и энергоснабжения отдельных территорий. При этом по этапам осуществляются разагрегирование рассматриваемой территории, уточнение и детализация энергопотребления. Соответственно меняется качество используемых данных и искомых показателей и изменяются методы прогнозирования.

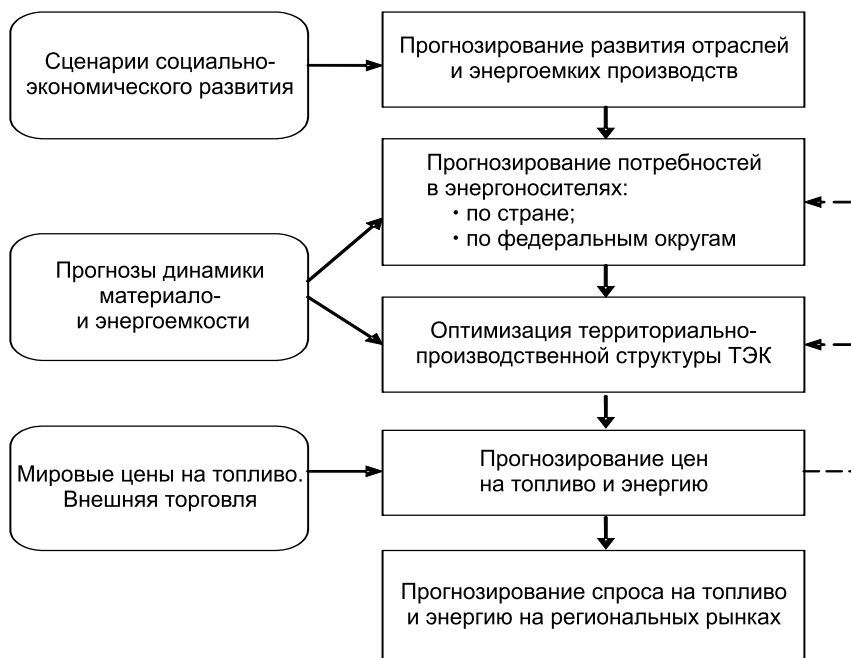
В данной статье рассматривается методический подход к оценке спроса на топливо и энергию, используемый в Институте систем энер-

гетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН при разработке долгосрочных стратегий развития ТЭК страны и укрупненных регионов, т.е. при расширении задачи верхнего уровня. При этом особое внимание уделяется ценовой эластичности спроса на энергоносители, учет которой в прогнозных исследованиях становится все более актуальным.

## **МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД**

В рыночной экономике формирование цен и формирование спроса – взаимосвязанные процессы. Рост спроса на топливо вызывает увеличение объемов его добычи и транспорта и, соответственно, дополнительные затраты, а повышение цены стимулирует энергосбережение, переход к использованию альтернативных энергоносителей и способствует снижению потребности в данном топливе. Очевидно, что прогнозирование энергопотребления должно быть увязано с прогнозами цен на топливо и энергию, со сценариями развития экономики и топливно-энергетического комплекса. Теоретически должна решаться оптимизационная задача взаимосвязанного развития экономики и энергетики страны и регионов с учетом действия ценовых механизмов. Большая неопределенность условий, требований и связей делает нецелесообразным применение при долгосрочном прогнозировании сложных модельных комплексов с единой целевой функцией. Более реальным и соответствующим современному уровню знаний и возможностей является поэтапный подход, при котором долгосрочный прогноз спроса на энергоносители рассматривается как самостоятельная задача с итеративной увязкой ее с задачами прогнозных исследований развития экономики, энергопотребления и ТЭК. Предлагаемая схема ее решения приведена на с. 209.

Рассматривается несколько сценариев долгосрочного развития экономики России, различающихся прежде всего численностью населения, темпами роста ВВП, фонда потребления и инвестиций в основной капитал, а также структурой и объемами экспорта и импорта. На эти показатели настраивается межотраслевая динамическая модель [1], и с ее помощью определяется соответствующая каждому сцена-



Этапы прогнозирования спроса на топливо и энергию

рию динамика развития промышленности (16 отраслей), строительства, транспорта, сельского хозяйства и сферы услуг.

Этим расчетам, как и расчетам энергопотребления, предшествует оценка вероятной динамики материалоемкости и энергоемкости отдельных отраслей. При этом учитываются российские и мировые тенденции, ожидаемые изменения внутриотраслевой и технологической структуры, соотношение существующих и новых производственных мощностей. Поскольку эти пропорции зависят от темпов развития каждой отрасли, постольку сценариям ускоренного развития экономики соответствуют более прогрессивные значения средних коэффициентов материалоемкости и энергоемкости. Умножая последние на прогнозные объемы производства продукции, можно получить предварительную оценку динамики потребностей в энергоносителях про-

изводственной сферы. Отдельно прогнозируется энергопотребление населения [2]. Определяются потребности в электроэнергии, теплоэнергии от централизованных источников, моторном топливе, топливе для нетопливных нужд и котельно-печном топливе для промышленных печей и населения.

Спрос на энергоносители, полученный для страны в целом, агрегируется по федеральным округам пропорционально прогнозируемому изменению их доли в ВВП и численности населения. При этом учитываются тенденции изменения доли данного региона в общероссийском энергопотреблении в предплановый период, а также вся имеющаяся информация о возможном появлении на рассматриваемой территории новых крупных энергоемких производств.

На этой стадии расчетов потребность в конкретных видах топлива (газ, мазут, уголь и др.) не определяется. Это делается в оптимизационной модели ТЭК страны по федеральным округам [3]. В модели ТЭК определяется рациональный вариант удовлетворения заданной потребности в энергоносителях (в электроэнергии, теплоэнергии от централизованных источников и котельно-печном топливе) с учетом развития генерирующих мощностей и эксплуатации конкретных месторождений угля, газа и нефти. При расчете минимизируются так называемые приведенные затраты на производство и транспорт энергоресурсов.

Полученные в результате расчетов двойственные оценки (замыкающие затраты) топлива в самом первом приближении отображают рыночные цены. Из-за предшествующего агрегирования потребностей и территории они практически не учитывают разную эффективность использования взаимозаменяемых видов топлива в различных отраслях. Не учитывается также растущая зависимость цен на региональных энергетических рынках от мировых цен. Это заставляет включить в схему прогнозирования энергопотребления прогноз вероятной динамики цен на топливо и энергию. Используемый при этом методический подход отображает поведение на региональном энергетическом рынке потенциальных поставщиков топливно-энергетических ресурсов [4]. Для данного региона определяются минимальные цены предложения (цены самофинансирования, покрывающие эксплуатационные расходы и обеспечивающие минимальную прибыль

на вложенный капитал), цены межтопливной конкуренции и цены равновесия с мировыми. Последние равны ожидаемым экспортным ценам, за вычетом транспортных расходов и таможенных сборов.

На заключительном этапе прогнозирования энергопотребления определяется зависимость спроса на топливо и энергию от их стоимости.

## СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ЦЕНОВОЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ СПРОСА НА ТОПЛИВО

Мировой опыт свидетельствует о существенной зависимости спроса на энергоносители и динамики энергоемкости отдельных отраслей и экономики в целом от изменения цен на топливо и энергию. Их рост вызывает сначала замену одного энергоносителя другим, затем переход к энергосберегающим технологиям (замену одного фактора производства другим: энергии – капиталовложениями или трудом) и, наконец, замену энергоемких видов продукции и услуг менее энергоемкими. При этом реакция экономики на значительное удорожание энергоресурсов носит длительный характер: простая замена энергоносителей требует до 2–3 лет, смена технологий – до 5–8 лет, перестройка структуры производства и конечного потребления – более 8–10 лет. Эта реакция может быть охарактеризована краткосрочной и долгосрочной эластичностью – изменением (в процентах) спроса на данный энергоноситель при изменении его стоимости на 1%.

Значения эластичности определяются обычно с помощью эконометрических моделей типа

$$D_i = F(Y, P_i, P_k), \quad (1)$$

где  $F$  – это, как правило, логарифмическая функция;  $D_i$  – потребление  $i$ -го энергоносителя;  $Y$  – валовой выпуск или доход;  $P_i$  – цена на энергоноситель  $i$ ;  $P_k$  – цена замещающего энергоносителя.

Коэффициенты при ценах в этих моделях, построенных по отчетным данным, характеризуют эластичность энергопотребления от цен.

Используются разные модификации формулы (1). Например, в анализе потребления газа в 30 странах в работе [5] применялись следующие три модели:

$$D_t = AP_t^{e_g} Y_t^{e_y}, \quad (2)$$

где  $D_t$  – потребление газа в году  $t$ ;  $A$  – константы;  $P_t$  – цена газа в году  $t$ ;  $Y_t$  – доход (ВВП);  $e_g$  – краткосрочная эластичность по цене;  $e_y$  – краткосрочная эластичность по доходу;

$$D_t = AP_t^{e_g} Y_t^{e_y} D_{t-1}^\lambda; \quad (3)$$

$$E_g = e_g / (1 - \lambda); \quad (3a)$$

$$E_y = e_y / (1 - \lambda), \quad (3b)$$

где  $E_g$  – долгосрочная эластичность по цене;  $E_y$  – долгосрочная эластичность по доходу;  $\lambda$  – временной лаг;

$$D_t = AP_{gt}^{e_g} P_{ct}^{e_c} P_{ot}^{e_o} Y_t^{e_y}, \quad (4)$$

где  $P_{it}$  – цена топлива (газа, угля, нефти);  $e_i$  – ценовая эластичность топлива  $i$ .

Следует отметить, что тип используемой модели и набор включаемых в нее переменных оказывают заметное влияние на величину эластичности. Иллюстрацией может служить приведенный в табл. 1 разброс значений ценовой эластичности спроса на энергию, полученных для одного интервала времени.

Для получения достоверных значений эластичности с помощью эконометрических моделей спроса требуются достаточно длинные ряды статистических данных, отражающих устойчивые тенденции в изменении цен. С теми или иными корректировками эти коэффициенты используются для прогнозных расчетов в странах с рыночной экономикой.

В ряде прогнозных моделей делается попытка оценивать влияние стоимости энергоносителей на энергопотребление путем прямого сопоставления эффективности применения разных энергосберегающих технологий. Такого рода оценки проведены в 1992 г. в рамках одного из проектов Форума энергетических моделей – организации, которая при поддержке Министерства энергетики США осуществляет экспертизу сложных энергетических проблем. Наряду с базовым вариантом разви-

Таблица 1

**Значения ценовой эластичности спроса на энергоресурсы, полученные с помощью разных моделей для периода 1970–1984 гг.\***

Страна	Кол-во моделей	Эластичность	
		краткосрочная	долгосрочная
США	2	-0,138 ÷ -0,141	-0,513 ÷ -0,517
ФРГ	5	-0,151 ÷ -0,485	-0,206 ÷ -1,170
Япония	5	-0,290 ÷ -0,551	-0,473 ÷ -1,080
Франция	2	-0,154 ÷ -0,448	-0,410 ÷ -0,448
Великобритания	3	-0,010 ÷ -0,166	-0,100 ÷ -0,210
Канада	2	-0,390 ÷ -0,62	-1,070 ÷ -1,100

\* *Источник: Welsch H. The reliability of aggregate energy demand function // Energy Economics. – 1989. – V. 11, No. 4. – P. 285–297.*

тия энергетики США в период 1991–2010 гг. (при темпах ее прироста на уровне 1% в год) рассматривался вариант увеличения стоимости всех энергоносителей на 25%. Расчеты на шести разных моделях дали заметный разброс оценок снижения энергопотребления к 2010 г. по сравнению с базовым сценарием: в непроизводственной сфере – на 2–6%, в промышленности – на 4–8, на транспорте – на 1–8%.

Анализ зарубежных количественных оценок ценовой эластичности спроса на энергоносители показывает их нестабильность во времени и сильную зависимость от конкретных условий, специфики развития энергетики и экономики разных стран. Однако он позволяет сделать определенные качественные выводы, полезные при определении возможной реакции потребителей на изменение стоимости топлива и энергии:

- ценовая эластичность спроса увеличивается с развитием рыночных отношений, развитием экономики и ростом душевого ВВП;
- долгосрочная эластичность (адаптация потребителей за значительный промежуток времени к удорожанию топлива или энергии) в несколько раз выше краткосрочной;

- ценовая эластичность спроса на энергоносители в непродуцирующей сфере ниже и более устойчива, чем в промышленности. Наиболее изменчива во времени и по странам эластичность спроса на топливо на электростанциях;
- при оценке возможной реакции на тот или иной энергоноситель надо учитывать изменение цен на конкурирующие энергоносители (перекрестную эластичность).

В России рыночные механизмы в экономике и энергетике только начинают развиваться. Со временем реакция разных категорий российских потребителей на изменение стоимости энергоносителей будет все более ощутимой, а численные значения эластичности спроса от цены будут приближаться к характерным для развитых стран. В настоящее время имеющихся статистических данных недостаточно для получения сколько-нибудь надежных значений ценовой эластичности спроса на топливо и энергию, пригодных для перспективных расчетов, а специфические российские условия допускают использование зарубежных оценок эластичности только в качестве очень грубого ориентира. Поэтому расчеты изменения спроса на энергоносители должны опираться на непосредственное сравнение экономической эффективности использования разных видов энергоносителей у разных групп потребителей, учитывать социальные и экологические критерии и требования.

Например, конкурентоспособность газа по сравнению с другими энергоносителями у отдельных потребителей определяется не только его относительной стоимостью, но и его технологическими, эксплуатационными и экологическими свойствами, обеспечивающими дополнительные экономические преимущества – так называемый «потребительский эффект». Эти свойства позволяют получить ту же цену конечной продукции при более высокой стоимости газа, чем конкурирующего энергоносителя.

Таким образом, конкурентоспособность газа по сравнению с углем у многих категорий потребителей определяется: 1) более низкими удельными капиталовложениями; 2) более высоким к.п.д.; 3) более низкими эксплуатационными затратами (без учета топливной составляющей себестоимости); 4) меньшим воздействием на окружающую



Таблица 2

**Допустимое превышение цены газа над ценой угля на электростанциях,  
долл. США/тут**

Электростанция	Без учета экологического эффекта	С учетом экологического эффекта
Действующие ТЭС:		
перевод на газ с высококачественного угля	9–13	13–17*
перевод на газ с низкокачественного угля	13–17	18–23*
Строящиеся традиционные ТЭС	18–24	30–45*
Новые ПГУ ТЭС	50–65	75–90

\* При экологических требованиях, характерных для Западной Европы и США.

среду и, соответственно, более низкими выплатами за загрязнение окружающей среды (табл. 2).

Метод оценки ценовой эластичности на основе учета потребительского эффекта желательно применять для всех групп потребителей, но в первую очередь – для электростанций, котельных, крупных промышленных печей. В отношении прочих потребителей при отсутствии необходимой информации для ориентировочных расчетов на долгосрочную перспективу, по-видимому, допустимо использовать значения эластичности, полученные из анализа зарубежных и отечественных публикаций.

## **ОЦЕНКА ЦЕНОВОЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ СПРОСА НА ГАЗ ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ**

Задача оценки влияния изменения стоимости газа на объемы его перспективного потребления на рассматриваемой территории осложняется тем, что в большинстве регионов природный газ еще не используется и, соответственно, отсутствует необходимая для расчетов статистическая база. Особенности же экономики, размещения производства и населения на территории, климатические и другие факторы не позволяют без серьезной корректировки переносить на восточные

регионы опыт, накопленный на территории, охваченной Единой системой газоснабжения.

С учетом неполноты и условности имеющейся исходной информации была сделана попытка оценить ценовую эластичность спроса на газ в регионе на основе учета потребительского эффекта и использования зарубежных данных об эластичности без построения каких-либо сложных моделей. Был применен следующий подход. В качестве базы для сравнения были приняты один из вероятных вариантов потребления газа в регионах до 2020 г. (с выделением объемов по основным группам потребителей) и соответствующая ему динамика цен на топливо (табл. 3). Рассматривались варианты повышения стоимости газа по отношению к углю в 2 и 3 раза. Изменение спроса на газ определялось сравнительно с базовым вариантом для тепловых электростанций, котельных, промышленности (непосредственное потребление топлива без газохимии), населения и сферы услуг.

При оценке влияния стоимости газа на объем его потребления на ТЭС в базовом варианте задавались уровень производства электроэнергии и количество действующих и вводимых в период 2016–2020 гг. ТЭС с соответствующим объемом потребления разных видов топлива. При этом в структуре мощностей рассматривались станции с тра-

Таблица 3

**Принимаемые в базовом варианте рыночные цены на топливо,  
долл. США/тунт\***

Регион	2015		2020	
	Уголь	Газ	Уголь	Газ
Иркутская обл.	23–28	44–52	28–36	53–60
Республика Саха (Якутия)	36–41	42–48	45–50	52–61
Хабаровский край	35–40	65–78	42–50	71–87
Приморский край	51–56	74–87	55–60	81–97
Сахалинская обл.	51–56	58–70	53–60	68–83

\* Без учета стоимости распределительного транспорта.

диционными и новыми технологиями, в том числе ПГУ. Предполагалось, что удорожание газа не должно привести к его замене углем или мазутом на уже действующих к 2015 г. газовых ТЭС, но его потребление на них может несколько снизиться из-за меньшей загрузки и дополнительных мероприятий по повышению к.п.д. С учетом потребительского эффекта газа определялась цена 1 кВт·ч электроэнергии при использовании его вместо угля. Если она превышала цену 1 кВт·ч для угольных ТЭС, то использование газа признавалось неэффективным. Таким образом, определялись общее количество станций, работающих на газе, и соответствующий объем его потребления.

Для оценки влияния удорожания газа на его потребление в котельных в базовом варианте задавался объем производства централизованного тепла и выделялись новые и существующие к 2020 г. котельные, работающие на разных видах топлива. С учетом потребительского эффекта газа рассчитывалась стоимость 1 Гкал тепла при переводе котельных на газ с угля или мазута и при сооружении новых котельных. При этом учитывалось, что строительство котельной, работающей на газе, вместо новой угольной по экономическим и экологическим соображениям целесообразно, даже если газ дороже угля в 2 раза, а потребительский эффект от перевода действующих по устаревшей технологии угольных котельных на газ еще выше, чем при сооружении новой газовой котельной. Таким образом, рассчитывался объем потребления газа котельными, необходимый для удовлетворения заданной потребности в тепле.

Для оценки изменения спроса на газ в производственной и непроизводственной сферах на основе анализа зарубежных данных [6–9] и экспертной оценки авторов были приняты следующие значения среднесрочной эластичности: для промышленности – в диапазоне от  $-0,25$  до  $-0,3$ , для населения – от  $-0,15$  до  $-0,20$ , для сферы услуг – от  $-0,20$  до  $-0,25$ .

Итоговая расчетная ценовая эластичность спроса на газ в регионе определялась путем деления суммарного изменения спроса на газ (в процентах) на изменение его цены (в процентах) по отношению к базовому варианту. Результаты расчетов приведены в табл. 4. Из них можно сделать следующие выводы:

Таблица 4

**Расчетные значения ценовой эластичности спроса на газ\***

Потребитель	Иркутская обл.	Республика Саха (Якутия)	Приморский край	Хабаровский край	Сахалинская обл.
ТЭС	0,49–0,77	0,15–0,20	0,52–0,65	0,53–0,56	0,44–0,48
Котельные	0,37–0,72	0,17–0,19	0,50–0,63	0,50–0,80	0,19–0,26
Производственная сфера	0,25–0,28	0,28–0,30	0,26–0,29	0,25–0,28	0,27–0,30
Сфера услуг	0,2–0,23	0,23–0,25	0,21–0,23	0,20–0,23	0,22–0,24
Население	0,15–0,17	0,17–0,20	0,16–0,18	0,15–0,17	0,17–0,19
Суммарная эластичность	0,43–0,47	0,18–0,20	0,49–0,57	0,55–0,59	0,35–0,36

\* Все коэффициенты имеют знак «-».

- эластичность спроса на газ существенно различается по регионам и группам потребителей;
- реакция суммарного спроса на газ на изменение его стоимости наиболее значима в Приморском, Хабаровском краях и Иркутской области, а наименее – в Республике Саха (Якутия). Это связано с различной структурой экономики регионов, наличием на их территории других видов топлива и разными ценами на них;
- из рассмотренных групп потребителей в наибольшей степени на изменение стоимости газа относительно угля реагируют тепловые электростанции: эластичность колеблется по всем регионам, кроме Республики Саха (Якутия), от  $-0,45$  до  $-0,77$ . Почти столь же значительна реакция со стороны котельных. Только в Сахалинской области и Республике Саха (Якутия) эластичность ниже  $0,20-0,26$ . В наименьшей степени спрос на газ зависит от его стоимости у населения, поскольку реальным конкурентом газу в городах может быть только дешевая электроэнер-

гия. Дополнительного учета требует влияние платежеспособности населения на масштабы газификации непродуцированной сферы.

Очевидно, что приведенные количественные оценки являются весьма условными (особенно это касается промышленности). Однако представляется, что они могут быть полезными на предварительном этапе разработки стратегии и программы газификации территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Их значения должны уточняться на проектной стадии газификации конкретной территории и объектов при наличии более детализированной и более достоверной исходной информации.

### Литература

1. **Кононов Ю.Д., Куклина А.Ю., Тыртышный В.Н.** Оценка макроэкономического последствия удорожания энергоносителей // Экономика и математические методы. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 93–101.
2. **Гальперова Е.В., Кононов Ю.Д.** Прогнозирование спроса на энергоносители // Методы и модели разработки региональных энергетических программ. – Новосибирск: Наука, 2003. – С. 29–37.
3. **Лагереv А.В., Ханаева В.Н.** Модели для оценки внешних топливно-энергетических связей региона // Методы и модели разработки региональных энергетических программ. – Новосибирск: Наука, 2003. – С. 16–28.
4. **Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю.** Долгосрочное прогнозирование динамики цен на российских энергетических рынках // Проблемы прогнозирования. – 2005. – № 6. – С. 53–59.
5. **Komigama R.** Projecting long-term natural gas demand as a function of price and income elasticities. RR. – ПАСА, 2000. – 10 p.
6. **Industrial** end-use planning methodology. – EPRI, USA, 1986. – V. 1.
7. **International** Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 1994. – V. 16, No. 1.
8. **Dahl C.** Energy and product demand elasticities for the developing world: A survey of the econometric evidence. – Colorado School of Mines, 1992. – 150 p.
9. **Energy** supplies and prices in Western Europe to the year 2000: A new study from Energy Advice. – Geneva, 1985. – 175 p.

© Гальперова Е.В., Кононов Ю.Д., Мазурова О.В., 2008