

# Перемены в добыче и использовании природного газа: последствия для США<sup>1</sup>

**Дуглас МИД** (Douglas S. Meade), Мэрилендский университет, INFORUM, США

В статье описаны результаты специалистов из исследовательской группы INFORUM (University of Maryland) и некоммерческой организации MITRE Corporation по совместному использованию моделей LIFT и MARKAL применительно к проблемам, возникающим на рынке газа в связи с ростом добычи сланцевого газа, которые обсуждались на 26-м Форуме по моделированию энергетики (Energy Modeling Forum 26).

*Ключевые слова:* природный газ, США, проект INFORUM, 26-й Форум, энергетика

*Сланцевый газ – вот что изменит правила игры в экономике США и всего мира.*

Уилбур Росс (Wilbur Ross, 2013)

С 2006 г. запасы природного газа в Северной Америке заметно увеличились в результате быстрого распространения методов горизонтального бурения и гидроразрыва пластов. При значительном различии в оценках экономически доступных запасов наблюдается единство мнений в том, что сланцевый бум в США сохранится в обозримом будущем. Рост запасов привел к падению цены на газ. Кроме того, прогнозируемая цена снизилась по сравнению с предположениями совсем недавних лет.

Значительно увеличилось потребление природного газа в энергетическом секторе при соответствующем снижении доли угольной электрогенерации. Благодаря использованию более дешевого газа, возможно, вырастут объемы производства и экспорта промышленного сектора, являющегося крупным потребителем газа. Потребление природного газа на транспорте в настоящее время относительно низкое, но может значительно увеличиться при вводе в действие необходимых объектов инфраструктуры.

---

<sup>1</sup> Доклад представлен на XXI Международной конференции INFORUM, проходившей в Листвянке, Россия, 25-31 августа 2013 г. Meade Douglas S.: Inforum, University of Maryland, P.O. Box 451, College Park, MD 20740. URL: meade@econ.umd.edu

Рост спроса на природный газ в электроэнергетике сопровождался активным поиском новых рынков, где природный газ мог бы эффективно конкурировать с другими источниками энергии. Потенциально возможен рост потребления газа на транспорте – как прямого, так и посредством переработки природного газа в жидкие виды углеводородного топлива, например, в дизельное. В краткосрочной перспективе возможности экспорта ограничены мощностью предприятий по производству сжиженного газа, но при достаточных инвестициях эти ограничения со временем могут быть преодолены. И наконец, замена энергоносителей возможна и на рынке бытовых потребителей газа, когда вместо природного газа используется электроэнергия.

На 26-м Форуме по моделированию энергетики обсуждались факторы развития каждого из этих рынков, а также влияние экономической ситуации на соотношение спроса и предложения на газовом рынке. Отметим некоторые проблемы, выделенные рабочей группой Форума.

- Какие отрасли конечного потребления смогут поглотить возросшие объемы производства газа и в каких объемах?
- Какие источники энергии в этих секторах будут замещены природным газом?
- Какова ожидаемая разница в ценах на природный газ у скважины и для конечного потребителя?
- Как повлияют перемены на энергетическом рынке на выбросы углекислого и парниковых газов в атмосферу?
- Станет ли Северная Америка крупным экспортером газа на мировом рынке?

### **Результаты исследований 26-го Форума по моделированию энергетики**

Целями Форума были анализ сценариев с использованием широкого круга экономико-энергетических моделей и выяснение соотношения спроса на природный газ и его предложения на основе сравнения результатов, полученных

с помощью этих моделей<sup>2</sup>. Была предпринята попытка совместного использования моделей LIFT и MARKAL<sup>3</sup>. Модель LIFT позволяет исследовать взаимосвязи между энергетическими и другими отраслями, а также дает общую картину спроса-предложения во всех отраслях. В эту модель включены отрасли по добыче и потреблению газа, отслеживаются источники спроса по каждой отрасли на продукцию других отраслей, а также конечный спрос, включая отраслевые экспорт и импорт.

Отрасли и направления конечного спроса, такие как коммунально-бытовой, торговый, промышленный, транспортный секторы и электроэнергетика, соответствуют тем, что используются в национальной модели энергетической системы США (National Energy Modeling System) и во многих других моделях. Межотраслевой характер модели LIFT («затраты – выпуск») позволяет использовать ее для исследования гипотетических взаимосвязей отраслей, например, тех, чье развитие зависит от расширения производства био- или синтетического жидкого топлива. В модели LIFT также отражены инвестиции в отрасли, что позволяет моделировать потребность в мощностях для строительства новых объектов по производству синтетических видов горючего или транспортировки сжиженного природного газа таким образом, что будет виден результат их воздействия на общий объем инвестиций и ВВП.

Модель MARKAL использована для того, чтобы детально описать оптимальные решения на микроэкономическом уровне, которые могут быть приняты в ответ на изменение цен и/или технологий. Альтернативные допущения относительно цен на горючее, капитальных

---

<sup>2</sup> Energy Modeling Forum, Working Group 26. Changing the Game: Emissions and Market Implications of New Natural Gas Supplies. Final report, led by Hill Huntington. – Stanford, 2013, August.

<sup>3</sup> Модель LIFT представляет собой межотраслевую макроэкономическую модель США, разработанную в группе Inforum. Модель MARKAL, разработанная Брукхейвенской национальной лабораторией (Brookhaven National Laboratory) в конце 1970-х годов, является оптимизационной моделью, работающей на основе детализированной базы данных о характеристиках процессов и технологий получения энергии за счёт переработки различных видов сырья. Используется во многих странах для исследования и планирования в области энергетики.

и технологических затрат могут быть введены для того, чтобы оценить, какое оборудование или производственный процесс могут быть выбраны для удовлетворения определенного вида потребностей конечного пользователя. Выходные данные модели MARKAL могут стать экзогенными или вспомогательными допущениями для модели LIFT при изучении влияния на отрасль и экономику в целом.

### **Модели LIFT и MARKAL**

**Модель LIFT** (Long-Term Inter-industry Forecasting Tool – инструмент долгосрочного прогнозирования межотраслевых связей) является межотраслевой макроэкономической моделью США, разработанной группой INFORUM<sup>4</sup>. Особенностью моделей данного класса является построение макроэкономических агрегированных показателей, таких как занятость, инвестиции, экспорт, импорт и личное потребление, из отдельных прогнозов на уровне отраслей или видов продукции. Такая структура модели полезна не только для проведения сценарного анализа взаимосвязей макроэкономических и отраслевых индикаторов, но и для разработки вспомогательных моделей с целью изучения, например, вопросов использования энергии, выбросов парниковых газов в атмосферу или затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы<sup>5</sup>. В данном исследовании в модели LIFT используются базы данных таблиц межотраслевого баланса в текущих и неизменных ценах, детализированных матриц движения инвестиций и капитала, а также временные ряды фактических и прогнозных значений добавленной стоимости для оценки

---

<sup>4</sup> Грассини (Grassini M., 1997) описал особенности моделей INFORUM, Д. Мид представил более раннюю версию данной модели: *Meade Douglas S. Recasting the Inforum Model of the U.S. Economy*, in Pan Shengchu (ed.). *INFORUM Model: Modeling and Applications*, China Financial and Economic Publishing House, Beijing, China, 1999. – P. 50-110.

<sup>5</sup> Д. Мид использовал расширенный блок «урожай – биотопливо» для оценки влияния роста производства этилового спирта на его потребление в США: *Meade Douglas S. An Analysis of the Economic Impacts of the 2007 Energy Independence and Security Act*. In: *Energy Policy and International Competitiveness*, ed. Maurizio Grassini and Rossella Bardazzi, Firenze University Press, 2009. – P. 3-28.

изменения тренда под воздействием планируемых мероприятий в отраслях и экономике в целом.

В самой последней версии модели LIFT используются данные отчетных межотраслевых балансов США за 1998–2010 гг. в отраслевой структуре межотраслевого баланса за 2002 г. (U.S. 2002 Benchmark IO Table). В рамках проекта INFORUM был составлен временной ряд оценок межотраслевого баланса по 399 продуктам в отраслевой структуре межотраслевого баланса за 2002 г., данных ежегодных таблиц и временных рядов промышленного производства Бюро экономического анализа США (U.S. Bureau of Economic Analysis) и данных по объемам экспорта и импорта Статистического бюро (Census Bureau).

Все данные по отраслям классифицированы в модели LIFT согласно той же отраслевой системе классификации и включают показатели занятости, затрат времени, оплаты труда и других элементов добавленной стоимости, инвестиций и основного капитала, а также объемов промышленного производства. В модель включено 110 продуктов, т.е. то же количество, что и в таблицах межотраслевого баланса, показателях конечного потребления и товарной продукции. Значения объемов и цен межотраслевого баланса рассчитаны по каждому продукту. Добавленная стоимость в разрезе продуктов определяется пропорционально доле продукта в выпуске отрасли и добавленной стоимости отрасли в целом.

В модель LIFT включены эконометрические уравнения по основным категориям конечного спроса и добавленной стоимости. Значения объемов выпуска и цен получены из основных равенств модели «затраты – выпуск», и потому полностью учтена взаимозависимость всех цен и объемов. В системе макроэкономического учёта и отчётности (“Accountant”) отслеживаются агрегированные данные по отраслям и продуктам, а также отношения и балансы в системе национальных счётов.

**Модель MARKAL** (Market Allocation – рыночное распределение) – это модель энергетических рынков на основе агрегации первичных данных. По своей сути модель является оптимизационной с критерием минимизации

затрат и включает множество условий и ограничений, задаваемых пользователем, что позволяет моделировать функционирование всей энергетической системы. Последняя представлена в модели MARKAL в виде входных данных, определяющих энергетические потоки и технологии, связанные с добычей или импортом ресурсов, их преобразованием в конечные виды энергии и использованием для удовлетворения потребностей конечных пользователей. В модели оптимизируется использование технологий и топлива во времени с помощью методов линейного программирования путем минимизации чистых текущих затрат на функционирование энергосистемы. Это достигается в случае удовлетворения потребности в энергии при наличии ограничений на виды энергии, выбросы парниковых газов и поведение потребителей.

Выходными данными модели являются структура технологий в различные периоды времени в будущем, оценки общего объема затрат, использования энергоносителей (по видам и качеству), выбросов парниковых газов, а также предельной стоимости энергетических продуктов. Результатом расчетов по модели является набор вариантов с наименьшими издержками исходных ресурсов, их переработки и конечного использования для удовлетворения потребности в энергии. При сценарном анализе модель может быть использована и для изучения изменений набора вариантов при изменении входных данных модели, например, при введении новых мер политики в отношении налогообложения в угольной промышленности или субсидирования перспективных энергетических технологий. Многоотраслевой характер базы данных модели MARKAL позволяет одновременно учитывать реакцию как спроса, так и предложения на меры в отношении выбросов или при реализации других целей.

Основой модели MARKAL является сетевая модель «Базовая энергосистема» (Reference Energy System). В ней отражены первичные источники энергии и потоки, составляющие энергосистему. В рамках энергосистемы рассматривается ряд процессов, начиная с импорта или добычи первичных энергоресурсов, переработки их в

топливо с использованием определенных технологических процессов до удовлетворения конечного спроса на энергию. В конечное потребление включены освещение, кондиционирование воздуха для промышленных целей и обеспечение работы транспорта. Показателями конечного потребления энергии являются постоянные и переменные затраты, технологическая доступность и эффективность, а также выбросы загрязняющих веществ<sup>6</sup>.

### **Совместное использование моделей**

Идея совместного использования моделей состоит в том, чтобы представить варианты энергосистемы, технологий энергоснабжения и применения энергии в модели MARKAL в структуре модели LIFT для США, использованной в рамках проекта INFORUM. Задачей является изучение того, как энергосистема отзывается на различные сценарии, включая изменение структуры энергетики и конечного потребления, и как эти изменения сказываются на экономике в целом.

До проведения сквозных расчетов для каждой из двух моделей были сформированы базовые сценарии, откалиброванные на данных ежегодного прогноза на 2012 г.<sup>7</sup> В рамках каждого сценария были сначала получены результаты по модели MARKAL, а данные по изменению структуры и эффективности топливного баланса за весь период до 2035 г., полученные при сравнении их с базовым сценарием, использовались как входные для сценария по модели LIFT. Таким образом, были учтены последствия изменения политики и структуры энергетики для экономики в целом, рассчитанные по модели MARKAL. Далее были оценены сценарии потребности в энергоресурсах по модели LIFT в сравнении с экзогенными параметрами модели MARKAL. При значительных отклонениях от модели MARKAL показатели потребности в энергоресурсах корректировались, и процедура расчетов с совместным использованием моделей повторялась.

---

<sup>6</sup> *Loulou R., Goldstein G., Noble K.* Documentation for the MARKAL Family of Models, 2004. URL: <http://www.etsap.org/documentation.asp>.

<sup>7</sup> U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, 2012, Report Number: DOE/EIA-0383(2012), June 2012.

## Описание сценариев

Рабочей группой 26-го Форума было предложено для исследования девять сценариев с использованием 14 различных типов моделей<sup>8</sup>. Были выбраны те модели, которые учитывают влияние спроса и предложения на рынке природного газа США. Приведем перечень сценариев.

1. *Базовый сценарий* насколько возможно приближен к структуре данных по ежегодному прогнозу на 2012 г.<sup>9</sup>

2. *Рост предложения сланцевого газа*: предполагается более быстрый рост объема его поставок, соответственно, по более низкой цене по сравнению с базовым сценарием.

3. *Низкий уровень предложения сланцевого газа*: отражает более пессимистичные предположения об увеличении его поставок, соответственно, по более высокой цене.

4. *Значительный рост ВВП*: предполагается оценить влияние быстрого роста потребления газа при ускоренном росте занятости и производительности труда, а также инвестиций и экспорта.

5. *Повышенный спрос*: спрос на газ будет увеличиваться из-за значительного роста производства этилена и мощностей заводов по производству синтетического жидкого топлива вместе с ростом предложения, как в сценарии 2.

6. *Увеличение предложения сланцевого газа и значительный рост ВВП*: совокупность гипотез сценариев 2 и 4.

7. *Ограничение на уголь*: предполагается рост цены на уголь с 20 долл. в 2020 г. до 52 долл. в 2035 г.

8. *Рост предложения сланцевого газа вместе с увеличением цены на уголь*: совокупность гипотез сценариев 2 и 7.

9. *Рост экспорта*: изучается возможность быстрого роста экспорта при увеличении дополнительных поставок.

Остановимся на сравнении сценария «*Повышенный спрос (на газ)*» с базовым.

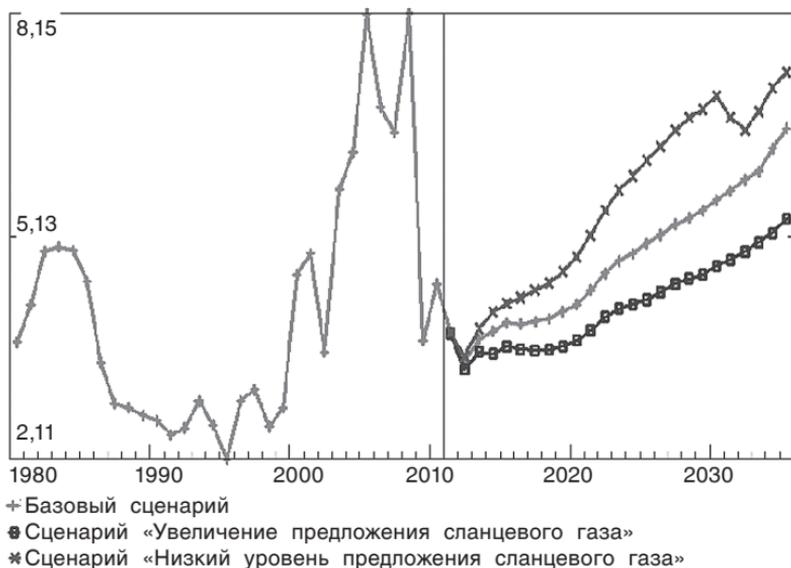
---

<sup>8</sup> Модели, представленные на 26-м Форуме: AMIGA, LIFT, ADAGE, USREGEN, FACETS, MARKAL\_US, MARKAL\_EPA, IPM, NewERA, NEMS, MRN-NEEM, ReEDS, MarketPoint and Energy2020.

<sup>9</sup> Annual Energy Outlook, 2012.

## Сценарий «Повышенный спрос»

По данному сценарию прогнозируется высокий уровень спроса на сланцевый газ, как и в сценарии 2, при 14%-м росте его добычи со снижением цены на газ на 24% по сравнению с базовым сценарием. Кроме того, предполагается рост инвестиций в мощности по производству этилена и синтетического жидкого топлива (СЖТ), что приведет к более высокому спросу на газ по сравнению со сценарием «Увеличение предложения сланцевого газа» (рис. 1).



**Примечания:** фактические и прогнозные цены на природный газ — по данным Службы энергетической информации США (Energy Information Agency).

*Рис. 1.* Сравнение цен по базовому сценарию и сценариям роста и сокращения предложения сланцевого газа в 1980–2030 гг., долл. (в ценах 2010 г.) /тыс. фут<sup>3</sup>

Первое, что можно увидеть из сравнения, это — как низкие цены на газ повлияют на цены в других отраслях, потребляющих его. На рисунке 2 представлены самые крупные отрасли по доле затрат на газ в стоимости их валового выпуска. График построен на данных таблиц межотраслевого баланса из модели LIFT. При этом не

делается различий между газом как энергетическим и промышленным сырьем.

**10 отраслей с самым высоким уровнем потребления и использования газа**



Рис. 2. Доля затрат на газ в стоимости валового выпуска в отраслях с высоким уровнем потребления газа, %

Отрасли с большей долей затрат на газ получают выгоду пропорционально снижению цены на него и становятся более конкурентоспособными на мировых рынках. Специальные уравнения в модели LIFT определяют величину экспорта, исходя из соотношения экспортных цен и цен на конкурирующий экспорт. Для каждого продукта составлено свое уравнение, в том числе для продуктов с более высокой ценовой эластичностью. На рисунке 3 представлены отрасли, в которых наблюдается рост экспорта при увеличении конкурентоспособности. Как видно из рисунка, в таких отраслях, как производство химикатов, металла, пластмасс и стройматериалов, наблюдается значительный рост экспорта.

Кроме увеличения спроса на газ, из-за роста экспорта в данном сценарии изучается влияние роста мощностей и объема производства этилена на 25%, согласно данным отчета за 2011 г. Американского химического совета<sup>10</sup>. В модель LIFT был включен дополнительный

<sup>10</sup> American Chemistry Council, Shale Gas and New Petrochemicals Investment: Benefits for the Economy, Jobs and Manufacturing, March 2011. URL: <http://www.americanchemistry.com>.

модуль, в котором рассчитывались потребление природного газа в качестве исходного сырья, объем производства этилена, цены и прирост мощностей, необходимых для обеспечения данного объема производства. Решения по данному модулю используются в основной модели LIFT в виде прогнозов относительно роста инвестиций в химические отрасли и роста коэффициента прямых затрат на газ при производстве химической продукции, что отражает рост доли производства этилена в валовом объеме производства. Доля экспорта химической продукции также снизилась, что позволило удовлетворить возросший спрос за счет расширения производства внутри страны.

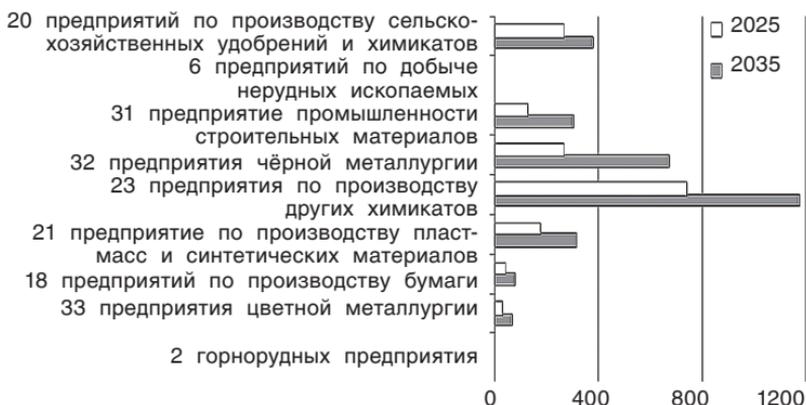


Рис. 3. Прирост объемов экспорта в отраслях с самым высоким уровнем потребления газа в 2025–2035 гг.

В рамках данного сценария также изучался значительный рост производства синтетического жидкого топлива на основе технологий сжижения газа. На рисунке 4 представлена зависимость инвестиционных затрат и последующего расширения использования СЖТ во всем объеме топлива к 2030 г. Допущение в сценарии относительно более быстрого роста вложений в мощности по производству синтетического топлива к 2030 г. приведет к использованию газа в объеме 1,5 трлн  $\text{фт}^3$  во всей производственной цепочке. Это составляет весь дополнительный объем спроса на газ по сравнению с базовым сценарием, в котором не предполагается производство синтетического жидкого топлива.

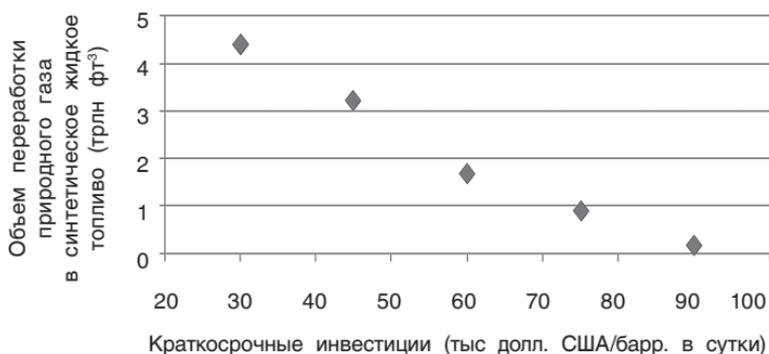


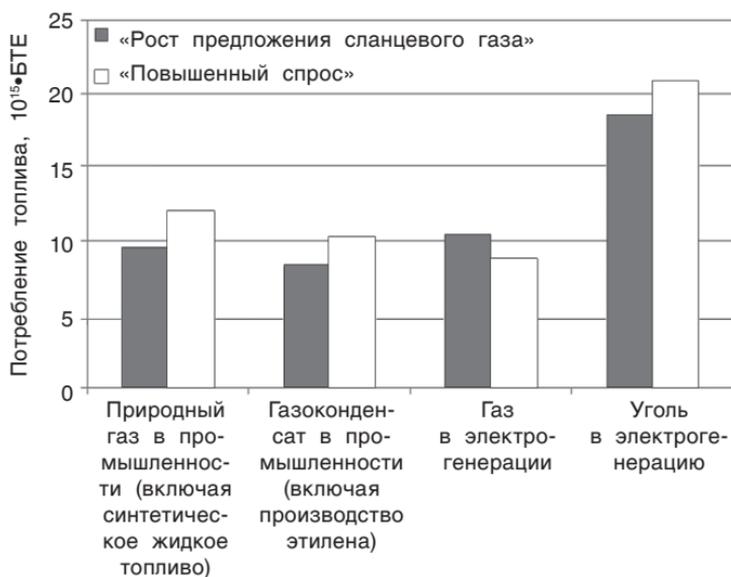
Рис. 4. Зависимость мощностей по выпуску синтетического жидкого топлива от цен на газ

### Сравнение сценариев

На рисунке 5 представлено сравнение потребления газа по двум сценариям: с повышенным спросом и с ростом предложения сланцевого газа. К 2030 г. потребность в природном и сжиженном газе по сценарию с повышенным спросом будет на 15% выше, чем по базовому. Производство синтетического топлива увеличит потребность промышленного сектора (переработка нефти) в природном газе, а производство этилена приведет к росту потребности промышленного сектора (производство химической продукции) в сжиженном газе. Экспорт химикатов вырастет на 2% по сравнению с базовым сценарием (рис. 6). К 2030 г. 11% общего потребления дизельного топлива придется на синтетические его виды (рис. 7). Общий объем потребления газа вырастет на 10% по сравнению с базовым сценарием.

Возможный рост ВВП по сценарию повышенного спроса на газ произойдет вследствие:

- стимулирования дополнительного производства продукции из этилена (пластмасс, резины и текстиля);
- роста выпуска химической продукции, помимо производимой из этилена;
- снижения импорта нефти в связи с производством синтетических видов топлива.



**Примечание:** БТЕ – британская термическая единица; 10<sup>15</sup>•БТЕ, или 1 квадрильон БТЕ является эквивалентом 24 млн т нефти

Рис. 5. Потребление топлива по сценарию с повышенным спросом и базовому, 10<sup>15</sup>•БТЕ

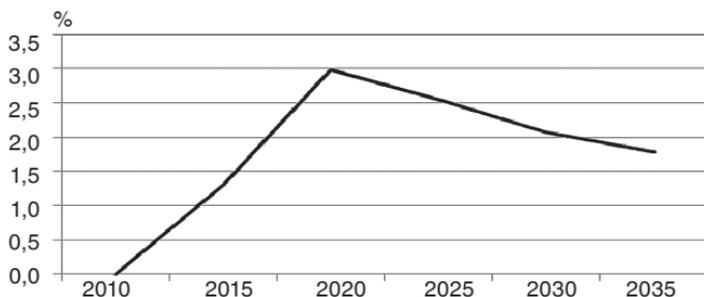


Рис. 6. Динамика экспорта объема химикатов по сценарию «Повышенный спрос» по сравнению с базовым сценарием в 2010–2035 гг., %

Рост ВВП к 2030 г. по сравнению с базовым сценарием составит 0,3%, или 730 млрд долл.

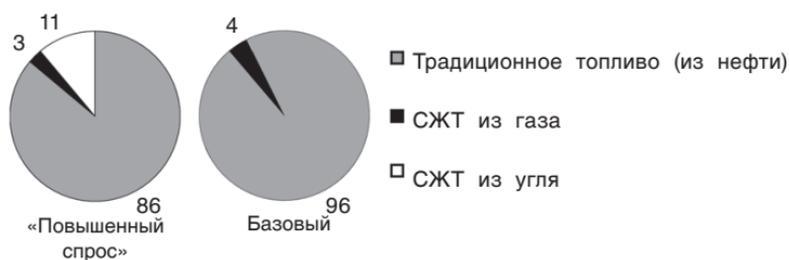


Рис. 7. Структура производства дизельного топлива в 2035 г. по сценариям «Повышенный спрос» и базовому, %

\* \* \*

Помимо представленных в данной статье результатов сравнения сценариев повышенного спроса с базовым, имеется еще несколько интересных результатов, которые следуют из проведенного исследования.

- Реакция цен на продукцию в ответ на снижение цен на природный газ наблюдается в основном в электроэнергетике и промышленных отраслях, в меньшей степени – на транспорте и в торговле.

- Возможное использование природного газа в целом будет низким, за исключением его потребления крупнотоннажными грузовыми автомобилями и автотранспортными хозяйствами.

- Благоприятные тенденции в изменении технологических и инвестиционных затрат на производство этилена и синтетических видов топлива могут привести к разительным изменениям потребления природного газа промышленным сектором и его доли в ВВП.

- До сих пор неизвестен характер кривой долгосрочного предложения газа, а именно, непонятно, насколько увеличатся цены на газ при повышении спроса.

- Возможные объемы экспорта природного газа также крайне неопределенны.