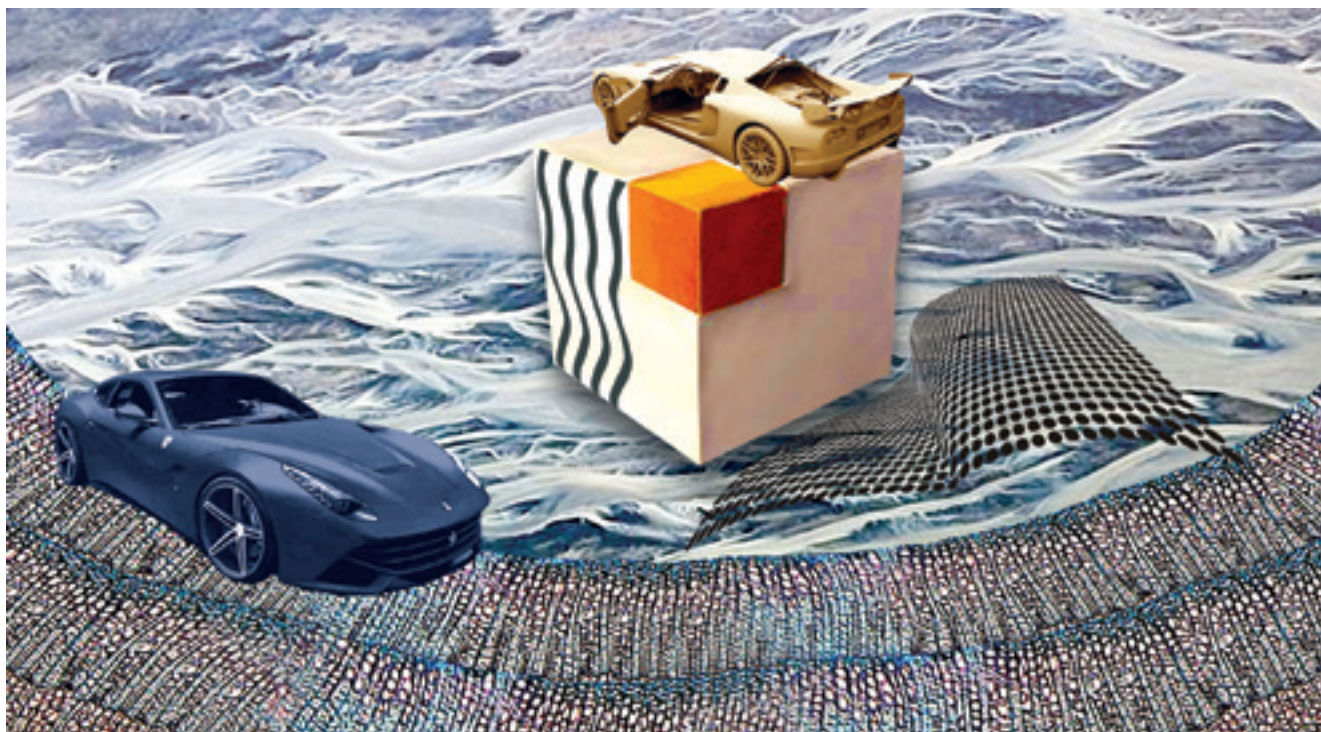


Технологические инновации как фактор спроса на энергоносители в секторе автомобильного транспорта

Татьяна Митрова^I, Вячеслав Кулагин^{II}, Дмитрий Грушевенко^{III}, Екатерина Грушевенко^{IV}



^I Заведующая отделом развития нефтегазового комплекса России и мира, ИНЭИ РАН*. E-mail: mitrovat@me.com

^{II} Начальник центра изучения мировых энергетических рынков, ИНЭИ РАН; заместитель заведующего Центром изучения мировых энергетических рынков, ИЭ НИУ ВШЭ**. E-mail: vakulagin@hse.ru

^{III} Младший научный сотрудник, ИНЭИ РАН; ведущий эксперт, ИЭ НИУ ВШЭ. E-mail: grushevenkod@gmail.com

^{IV} Научный сотрудник, ИНЭИ РАН; старший преподаватель кафедры системных исследований энергетических рынков, РГУ им. И.М. Губкина***. E-mail: e.grushevenko@gmail.com

* ИНЭИ РАН — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт энергетических исследований Российской академии наук». Адрес: 117186, Москва, ул. Нагорная, д. 31, к. 2.

** ИЭ НИУ ВШЭ — Институт энергетики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». Адрес: 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 20.

*** РГУ им. И.М. Губкина — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина». Адрес: 119991, Москва, Ленинский просп., д. 65, к. 1.

Аннотация

Проблема прогнозирования рынка моторных топлив в последние годы приобретает особую значимость в связи с развитием технологий и ужесточением межтопливной конкуренции в транспортном секторе, что в будущем может радикально преобразовать нефтяной, газовый и электроэнергетический рынки. Возникает потребность в разработке усовершенствованных методов прогнозирования, позволяющих учитывать меняющиеся рыночные факторы, прежде всего новые технологии.

В статье исследуется проблематика прогнозирования спроса на жидкие топлива в условиях неопределенности, связанной с будущим технологическим развитием автотранспорта. Технологии, воздействующие на этот спрос, классифицированы по характеру их влияния: разработки, направленные на повышение энер-

гоэффективности традиционных автомобилей, а также драйверы межтопливной конкуренции с прямыми и непрямыми субститутами нефтепродуктов. Для решения проблемы ограниченности исходной информации в методику включены инструменты кластеризации для группирования стран по определенным признакам. Экономико-математический инструмент с оптимизационными блоками обеспечивает комплексные расчеты, моделирующие рынок жидких топлив и оценивающие его взаимозависимость с рынками других энергоресурсов.

Сформированная система прогнозирования может служить инструментарием для оценки будущего влияния технологических инноваций на развитие нефтяной отрасли при проведении Форсайт-исследований.

Ключевые слова: нефтепродукты; альтернативные топлива; автомобильный транспорт; прогнозирование спроса; технология; энергоэффективность

DOI: 10.17323/1995-459X.2015.4.18.31

Цитирование: Mitrova T., Kulagin V., Grushevenko D., Grushevenko E. (2015) Technology Innovation as a Factor of Demand for Energy Sources in Automotive Industry. *Foresight and STI Governance*, vol. 9, no 4, pp. 18–31. DOI: 10.17323/1995-459X.2015.4.18.31

Жидкие топлива, в том числе нефть и нефтепродукты, — важнейшие элементы глобального энергетического баланса. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) [IEA, 2014], только на нефть приходится порядка 31% общего мирового потребления энергии и 93% — в транспортном секторе. Поскольку жидкие топлива имеют критическое значение для мировой энергетики и экономики в целом, перспективы развития этого рынка попадают в фокус внимания как экспертного сообщества, так и представителей бизнеса и государственных ведомств. Ежегодные прогнозы развития рынка жидкого топлива (часто его называют нефтяным из-за доли углеводородного сырья в структуре потребления) представляют Министерство энергетики США (U.S. Department of Energy) [DOE, 2014a], МЭА [IEA, 2014], секретариат Организации стран — экспортеров нефти (ОПЕК) [OPEC, 2014], Институт энергетических исследований Российской академии наук [Макаров и др., 2013]. Важнейшей частью каждого из этих прогнозов служит оценка долгосрочного спроса на энергоносители (в частности на нефтяные топлива), который во многом обуславливает будущую конфигурацию нефтяного рынка, включая ценовую конъюнктуру. Однако спрос на жидкие топлива становится все более волатильным на фоне технологических изменений, затрагивающих современный рынок нефти, и в первую очередь транспортный сектор, на долю которого сегодня приходится 64% мирового потребления углеводородов.

Интенсивная диверсификация структуры и модернизация технологий потребления топлива, усиление конкуренции нефтепродуктов с иными энергоносителями, прежде всего в транспортном секторе, актуализируют задачу обновления существующих и разработку новых методик прогнозирования спроса на жидкие топлива с учетом фактических и потенциальных технологических изменений. Для обеспечения необходимого качества расчетов такие решения должны учитывать все три вышеуказанные группы технологий, чего существующие подходы в полной мере не обеспечивают. Методики прогнозирования «сверху вниз», основанные исключительно на анализе макропараметров, не содержат инструментария для учета технологий в явном виде, хотя и отличаются простотой и доступностью для применения широким кругом экспертов, не предполагают учета технологий как таковых. Категория методик «снизу вверх» подразумевает такую возможность, однако их практическая реализация требует доступа к большим массивам данных, зачастую недоступных. Последние методики, кроме того, особенно чувствительны к корректности таких данных и сценарных предпосылок.

Предлагаемая нами оригинальная методика прогнозирования спроса, сочетающая достоинства существующих подходов, позволяет разрабатывать многофакторные сценарии и оценивать влияние энергетической и промышленной политики на спрос на моторные топлива. Она предусматривает специальные «технологические» блоки и дифференцированную оценку спроса на нефтепродукты, включая их прямые субституты, на основе данных оптимизационной модели рын-

ка жидких топлив. Характерная для моделей «снизу вверх» проблема неполноты информации решена при помощи инструментов кластеризации, которые позволяют проводить надежные аналогии между различными узлами и сопоставлять страны (регионы), имеющие сходные характеристики. В комплексе данная система охватывает экономические, демографические и технологические факторы.

Ключевые технологические изменения в потреблении моторных топлив

Заметное влияние на потребление жидких топлив в транспортном секторе может оказать широкий спектр технологических инноваций. С точки зрения расхода топлива развитие автотранспорта идет двумя противоположными путями. Совершенствованию транспорта — повышению мощности, внедрению систем кондиционирования, массажа, гидравлики, автоматики, дополнительных медиаустройств и т. д., — ведущему к росту расхода топлива, противостоят технологии, повышающие энергетическую эффективность транспорта. Результирующий тренд состоит в снижении расхода топлива. В оценках спроса на нефтепродукты следует учитывать и динамику межтопливной конкуренции, которая влияет на потребление нефтепродуктов в транспортном секторе через изменение структуры энергетической корзины в пользу других видов топлива.

Несмотря на более чем столетнюю историю развития отрасли, продукция автомобилестроения по-прежнему имеет значительный потенциал энергосбережения. Так, по оценке Американского физического сообщества (American Physical Society, APS) [APS, 2008], современный автомобиль на традиционном топливе эффективно передает от бака к колесам только 20% потенциальной энергии топлива на фоне 42%-го роста средней по миру мощности и 37%-го снижения расход топлива автомобилей только за период с начала 1990-х по 2010-е гг. [Макаров и др., 2013]. Такой динамики удавалось достичь за счет разработки и массового внедрения целой группы технологий: двигателей с турбонаддувом и прямым впрыском топлива, систем деактивации цилиндров и фаз газораспределения, улучшения трансмиссии и аэродинамических характеристик, снижения веса и создания гибридных моделей автомобилей.

Распространению энергоэффективных технологий немало способствовали меры государственной поддержки развития дорожного транспорта. Так, в США с 1975 г. действуют постоянно ужесточаемые стандарты экономии топлива Corporate Average Fuel Economy (CAFE), фиксирующие минимальное количество миль, которое автомобиль может преодолеть на одном галлоне топлива. В Европейском союзе в 1995 г. были приняты регулярно пересматриваемые нормативы по ограничению выбросов углекислого газа для легковых автомобилей. Аналогичный, но более строгий норматив в 1999 г. был принят в Японии, а в 2004 г. — в Китае. Перечисленные документы постоянно уточняются по мере внедрения новых технологий эффективного потребления топлива автопроизводителями. Уже сами ожидания неизбежного ужесточения требо-

ваний стимулируют производителей к интенсификации исследований и разработок (ИиР). Установленные Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency) целевые показатели SAFÉ на период 2014–2025 гг. предполагают снижение среднего расхода топлива для легковых автомобилей на 60%, для грузовых — на 30%¹. Аналогичные ориентиры поставлены не только перед дорожным, но и перед авиатранспортом. Так, энергоэффективность гражданской авиации, по данным Международной ассоциации воздушного транспорта (International Air Transport Association, IATA), к 2020 г. должна на 25% превысить уровень 2005 г.²

Вектор технологического развития показывает, что дальнейшее повышение энергоэффективности автотранспортных средств будет главным образом связано с совершенствованием и повышением КПД всех узлов (включая двигатель), развитием гибридных приводов, внедрением интеллектуальных систем управления и снижением веса за счет применения композитных материалов в отделке салона и кузова.

Существенное влияние на потребление нефтепродуктов в перспективе будут оказывать и технологии межтопливной конкуренции. Альтернативные энергоносители, постепенно занимающие свою нишу в транспортном секторе, могут быть разделены на:

- прямые субституты нефтепродуктов, для применения которых не требуются серьезные конструктивные изменения двигателей и потребительской инфраструктуры — биотоплива и жидкие нефтепродукты, производимые из газа и угля по технологиям *Coal-to-liquids* (CTL), *Gas-to-liquids* (GTL);
- непрямые субституты нефтепродуктов, внедрение которых потребует модификации транспортных средств и формирования соответствующей потребительской инфраструктуры — газомоторное топливо, электроэнергия и топливные элементы.

Отметим, что прямые субституты распространены шире непрямых в силу большей потребительской доступности первых, однако и их доля в транспортном секторе по состоянию на 2015 г. крайне низка (около 2% от общего объема энергопотребления на транспорте), что отчасти объясняется относительной высокой стоимостью добычи и производства. По расчетам МЭА, нынешние технологии делают эффективным производство биотоплива при цене нефти в диапазоне от 70 до 150 долл./барр. (в зависимости от места и способа производства); синтетических топлив из угля — от 45 до 105 долл./барр.; из газа — от 60 до 105 долл./барр. При этом полные удельные затраты на добычу и переработку всех доступных и технически извлекаемых мировых запасов традиционной нефти (за исключением месторождений, расположенных за Полярным кругом, и сверхглубокого залегания) варьируются в интервале 15–70 долл./барр. [IEA, 2013].

Все приводимые в статье цифры условны, а их действительный диапазон может быть гораздо шире в зависимости от стоимости газа, угля, налоговой нагруз-

ки и других факторов. Однако даже приблизительные оценки свидетельствуют о том, что прямые субституты конкурируют, скорее, с нефтепродуктами из маргинальных (сверхглубоководные и залегающие в сложных условиях пласты) и нетрадиционных (битуминозные песчаники, сланцевые плеи и кероген) месторождений [Макаров и др., 2013], освоение которых, по данным МЭА, становится рентабельным при цене на нефть в диапазоне 50–100 долл./барр. Нетрадиционные источники нефти пока лидируют в межтопливной конкуренции, что объясняется, среди прочего, существенным удешевлением их добычи в последние годы. Например, развитие технологий извлечения сланцевой нефти позволило снизить полные удельные затраты на ее добычу в США более чем на 40% за период с 2006 по 2010 г. [Грушевенко, Грушевенко, 2012], тогда как стоимость строительства предприятий по производству синтетического топлива из угля и газа за аналогичный период, напротив, выросла.

Помимо сравнительно высоких производственных издержек проникновение на рынок полных субституты нефти наталкивается на ряд других ограничений. Для производства биотоплив с использованием существующих технологий такими сдерживающими факторами выступают объем и состояние плодородной почвы и пахотных полей, а также потребности мировой пищевой промышленности. Преодолению этих ограничений теоретически может служить коммерциализация технологий производства биотоплив второго поколения³, способная, по оценкам экспертов МЭА, обеспечить этому энергоносителю 700 млн т ресурсной базы в нефтяном эквиваленте [OECD, IEA, 2010], или порядка 17% мирового спроса на нефть в 2014 г.

Объемные ограничения других прямых субституты нефтепродуктов, точнее, сырья для них — газа и угля, связаны с исчерпаемостью ресурсной базы и неуклонным ростом спроса, что актуализирует проблему их эффективного потребления. Масштабное использование синтетических топлив из угля сдерживается низкой энергоэффективностью их производства, для оценки которой часто используется безразмерный показатель EROI (Energy Return of Investments), рассчитываемый как отношение объема энергии, произведенной энергоносителем, к затраченной на ее выработку. Для нефтепродуктов — бензина и дизельного топлива — этот показатель в среднем составляет 25 [Cleveland, O'Connor, 2010], для топлив, произведенных по технологиям CTL, — колеблется в диапазоне от 0.6 до 6 [Kong et al., 2015]. Для сравнения: сжигание угля электростанциями обеспечивает EROI на уровне 40–80 [Raugei et al., 2011], что, очевидно, эффективнее, чем его ожигание.

В текущих технологических условиях топлива, синтезируемые из газа, более эффективны с точки зрения энергоотдачи, нежели угольные. Широкого тиражирования крупных промышленных объектов GTL, однако, не происходит не только в силу относительно большей по сравнению с нефтяными топливами стоимости

¹ Режим доступа: www.epa.gov, дата обращения 16.09.2015.

² Режим доступа: <https://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Pages/fuel-efficiency.aspx>, дата обращения 16.09.2015.

³ Подробнее про биотоплива разных поколений см., например, [Макаров и др., 2013].

производства, но и потому, что используемый для этих целей природный газ сам по себе является эффективным непрямым субститутом нефтепродуктов, не требующим дорогостоящей дополнительной обработки.

Невзирая на действующие ограничения по цене и объему, повлиять на спрос на нефтепродукты могут удешевление производства их полных субститутов или формирование благоприятной рыночной конъюнктуры — рост цен на энергоносители. Тем большую актуальность приобретает анализ и учет межтопливной конкуренции при прогнозировании спроса на нефтепродукты. Непрямые субституты последних на нынешнем этапе сохраняют преимущества не столько благодаря себестоимости и цене (такой прямой конкурирующий ресурс, как природный газ, доступнее с потребительской точки зрения), сколько в силу лучших потребительских свойств транспорта и распределенной инфраструктуры. В некоторых случаях значение имеет и более высокая стоимость самих транспортных средств, в частности электромобилей. Переоборудование — например, установка газобаллонного оборудования на бензиновый автомобиль отягощает потребителя дополнительными расходами. В большинстве стран отсутствует инфраструктура обслуживания и заправки автомобилей на альтернативных видах топлива, что создает неудобства при их эксплуатации и снижает их потребительскую привлекательность. Развитие соответствующей инфраструктуры не привлекает бизнес, поскольку спрос на нее ограничен узким кругом потребителей. Низкий спрос удерживает и крупнейшие концерны от запуска новых типов автомобилей в массовое производство [Митрова, Галкина, 2013].

Использование электроэнергии в автомобильном транспорте сдерживается скромными масштабами обслуживающей инфраструктуры и технологическим несовершенством самих электромобилей, в первую очередь небольшим запасом хода, продолжительностью зарядки и дороговизной оборудования, которая влияет на стоимость автомобиля, а значит и на его потребительскую привлекательность. Тем не менее ИиР в области не прямых субститутов нефтепродуктов, сопровождаемые рекламными и маркетинговыми мероприятиями, обеспечивают укрепление их конкурентных позиций. Так, отдельные потребительские характеристики американского электрокара Tesla — динамика разгона, шумовые параметры, отсутствие необходимости регулярной замены масла в двигателе и трансмиссии — делают его даже привлекательнее традиционных автомобилей. Сокращается его отставание от конкурентов в своем классе и по стоимости, и по продолжительности пробега без подзарядки. Одно из его главных преимуществ — отсутствие выхлопных газов (если, конечно, не учитывать эмиссию парниковых газов электростанциями). Успех Tesla свидетельствует о том, что в недалеком будущем технологические инновации смогут привести к вытеснению нефтепродуктов из транспортного сектора не прямыми заменителями.

Методики прогнозирования спроса на нефтепродукты

Инновационное развитие автомобилестроения и технологий энергопотребления в транспортном секторе требует гибкого учета всех технологических факторов при прогнозировании спроса на нефтепродукты. Такую возможность предоставляют далеко не все из существующих методик. Факторы технологического развития в них зачастую вообще не отражаются либо оцениваются косвенным образом — через изменение энерго- и нефтеемкости. Как показано в исследовании Всемирного банка [Bhattacharyya, Timilsina, 2009], для прогнозирования спроса на нефтепродукты чаще всего применяются два подхода:

- «сверху вниз» — при котором прогнозирование отталкивается от макропараметров;
- «снизу вверх» — когда анализируются конкретные виды и, возможно, технологические параметры.

Наибольшее распространение получили методики прогнозирования первого типа, основанные на фундаментальной связи спроса на нефтепродукты с экономико-демографическими показателями (уровнем ВВП и численностью населения)⁴. Привязка макроэкономических переменных к динамике потребления энергоресурсов достигается либо с помощью традиционных регрессионных моделей [Макаров и др., 2013], либо за счет алгоритмов эвристического поиска [Behrang et al., 2011], генетического программирования [Forouzanfar et al., 2012] и т. п. Обычно в рамках подобных моделей анализируется динамика показателя нефтеемкости (нефтепродуктоемкости) ВВП, то есть отношения последнего к спросу на нефтепродукты.

Рост энергоэффективности в моделях «сверху вниз» обычно отражается как резкое снижение прогнозируемой динамики нефтеемкости (нефтепродуктоемкости) при интенсивном развитии технологий либо в виде замедления этого снижения — при торможении технологического развития. Для оценки этой динамики с точки зрения межтопливной конкуренции в модель включается ценовая эластичность спроса на нефтепродукты [Nakanishi, 2006; Бобылёв и др., 2006]. Главными недостатками данного подхода с точки зрения технологического прогнозирования являются трудности учета влияния на будущий спрос конкретных инноваций в сфере потребления, отсутствие сценарной гибкости и непрозрачность самой процедуры оценки технологических факторов. В работе [Cleveland et al., 2000] ставится под сомнение сама правомерность сопоставления спроса на нефтепродукты с уровнем ВВП. Ее авторы указывают на разрыв связи между этими показателями, который и актуализирует поиск альтернативных подходов к прогнозированию спроса на нефтепродукты.

Модели «снизу вверх» чаще применяются для оценки спроса на энергоносители со стороны транспортного сектора. Они предполагают разработку прогноза спроса на моторные топлива на основе различных данных — величины автопарка, его структуры, темпов модернизации и амортизации, технико-экономических

⁴ Характер этих взаимосвязей подробно описан в работе [Григорьев, Курдин, 2013].

показателей. Именно такие подходы использованы в моделях МЭА [IEA, 2011], Министерства энергетики США [DOE, 2014b], Мирового энергетического совета [World Energy Council, 2011] и других исследованиях [Wang et al., 2006; Bouachera, Mazraati, 2007; Брагинский, 2012]. В них предусмотрена возможность создания гибких сценариев и оценки эффектов развития новых технологий спроса. Расчеты спроса исходя из размеров, состава и качественных характеристик автопарка позволяют учитывать как совершенствование традиционных технологий, так и появление новых, в том числе на базе альтернативных видов энергии.

Ключевые ограничения подхода «снизу вверх» связаны с необходимостью высокой детализации используемых данных и сложностью согласования расчетов спроса, предъявляемого транспортным и другими секторами. Трудности его прогнозирования в условиях нехватки информации освещены в работе [Bhattacharyya, Timilsina, 2009]. Для их преодоления были предприняты попытки группировки стран по одному из признаков [Button et al., 1993].

Отметим несколько недостатков существующих методик:

- «сверху вниз»:
 - учет ограниченного числа факторов, недостаточного для вариативных расчетов и сценариев, которые позволяют оценивать влияние научно-технического прогресса, энергетической политики и т. д.
- «снизу вверх»:
 - необходимость учета большого набора высоко детализированных исходных показателей;
 - непрозрачность расчетов в условиях неполноты исходных данных;

- недооценка маркетинговых факторов, влияющих на спрос (потребительские предпочтения, мода, доступность инфраструктуры и сервиса);
- отсутствие достоверного механизма индикации ошибок, порожденных некорректными исходными данными или предпосылками.

Предлагаемая нами методика нацелена на решение названных проблем.

Система прогнозирования спроса на жидкие топлива

Разработанная нами методика прогнозирования спроса на нефтепродукты и другие жидкие топлива (био-, синтетические газовые и угольные), совмещающая различные подходы к прогнозированию, позволяет нивелировать недостатки и эффективно использовать преимущества каждого из них (табл. 1).

Выделим следующие преимущества разработанной нами методики по сравнению с используемыми ранее:

- многокритериальная кластеризация, устраняющая проблему нехватки данных по отдельным странам;
- сочетание подходов «снизу вверх» и «сверху вниз» для совмещения прогнозных показателей спроса на нефтепродукты в транспортном и других секторах и индикации ошибок расчетов, порожденных некорректными исходными данными и предпосылками;
- детальный анализ маркетинговых факторов, влияющих на спрос, в том числе потребительских предпочтений и моды (готовности покупателей приобретать транспортные средства при худших экономических показателях в силу иных привлекательных характеристик или под действием рекламы), доступности инфраструктуры и сервиса;

Табл. 1. Сравнительный анализ методик прогнозирования спроса на жидкие топлива

Проблема	Методика «сверху вниз»	Методика «снизу вверх»	Предлагаемая методика
Зависимость прогноза от ограниченного числа макроэкономических показателей, невозможность учесть факторы технологического развития	Характерна	Решается посредством включения в расчет множества показателей	Охватывает множество показателей
Нехватка статистических данных	Не характерна, учитывая небольшое число требуемых входных параметров	Ключевая проблема	Отчасти преодолевается за счет применения многокритериальной кластеризации стран для поиска общих характерных закономерностей
Учет спроса по секторам	Не позволяет выделять отдельные сектора либо основывается исключительно на экономических показателях (валовой добавленной стоимости) сектора экономики	Как правило, применяется для прогнозирования спроса только в отдельном (транспортном) секторе; необходимо совмещение с иными секторами потребления для определения совокупного спроса в других моделях	Сочетание подхода «сверху вниз» при оценке совокупного спроса на нефтепродукты и подхода «снизу вверх» при оценке спроса на моторные топлива с их последующим совмещением
Учет маркетинговых факторов	Не учитываются	Учитываются частично в зависимости от заложенных разработчиками параметров	Учитываются
Непрозрачность механизмов учета межтопливной конкуренции	Учет межтопливной конкуренции требует дополнительных «настроек» и, как правило, осуществляется весьма формально, посредством оценки «ценовой эластичности»	Может использовать технико-экономические показатели для учета межтопливной конкуренции; как правило, требует применения дополнительных систем расчета	Предполагается использование методики в тесной связи с «ресурсным блоком», имитирующим функционирование рынка, включая аспекты межтопливной конкуренции

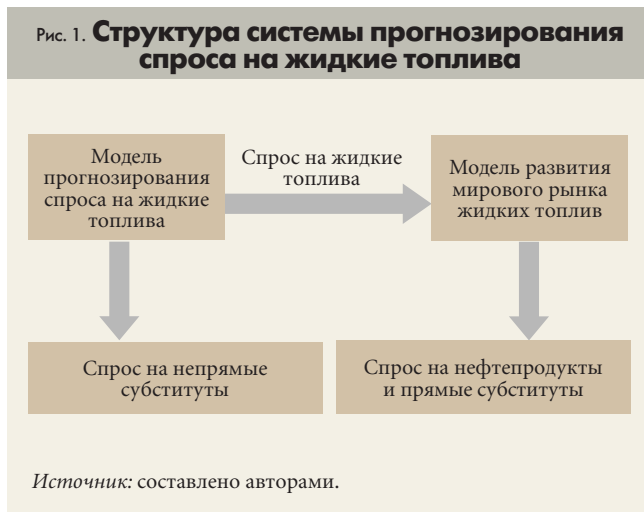
Источник: составлено авторами.

- формирование прогнозов в рамках комплексной системы прогнозирования мировой энергетики, учитывающей взаимное влияние на спроса на нефтепродукты и различных факторов, возникающих в смежных отраслях.

Предлагаемая нами методика прогнозирования состоит в проведении расчетов в рамках двух взаимосвязанных модельных блоков: в модели прогнозирования спроса на жидкие топлива последний оценивается с учетом технико-экономических факторов и межтопливной конкуренции с непрямыми субститутами нефтепродуктов; в модели развития мирового рынка жидких топлив расчет спроса на нефтепродукты учитывает их позиции в конкуренции с прямыми субститутами (рис. 1).

Для моделирования спроса на жидкие топлива в соответствии с типовым фракционным составом нефти и потребительскими характеристиками отдельных фракций, включая их прямые субституты, был определен следующий состав нефтепродуктовых групп.

1. *Сжиженные нефтяные газы*, в том числе этановая и пропан-бутановая фракции. Данная группа агрегирует газообразные нефтепродукты, применяемые в качестве моторных топлив — в транспортном и как топливо тепло- и электрогенерации — в бытовом и коммерческом секторах, а также служащие сырьем в нефтехимии.
2. *Прямогонные бензины (нафта)* — легкие бензиновые фракции, непригодные для использования в качестве топлива и обычно применяемые как растворители либо сырье для нефтехимических производств.
3. *Автомобильные бензины* — многокомпонентные смеси из прямогонных бензиновых фракций, вторичных и облагороженных бензинов и химических присадок, используемые в бензиновых автомобильных двигателях. Заменителями выступают бензины, производимые из угля, газа и биомассы.
4. *Авиационные керосины* — топлива для реактивной авиации.
5. *Дизельные топлива* — дизельные фракции, прошедшие гидроочистку и другие процессы облагораживания нефтепродукта, применяемые в автомобильном, железнодорожном и водном транспорте,



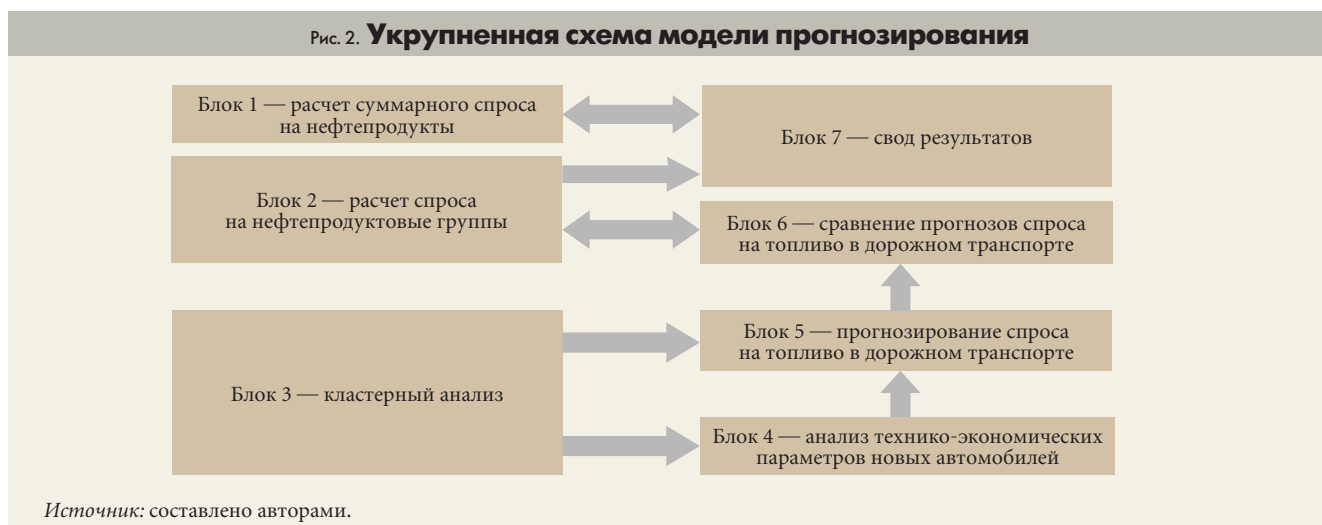
в дизельных генераторах и т. п. Заменители — био-, угольные и газовые топлива.

6. *Мазут и прочие тяжелые нефтепродукты* — широкая группа темных нефтепродуктов высокой плотности, включающая флотский и топочный мазуты, гудрон, битум, вакуумный газойль и другие тяжелые остатки нефтепереработки, используемые на водном транспорте, в строительстве, тепло- и электроэнергетике.

Модель прогнозирования спроса на нефтепродукты предусматривает семь взаимосвязанных блоков (рис. 2): три блока прогнозирования спроса на нефтепродукты, различающиеся методологическими подходами (блоки 1, 2, 5) и по два подготовительных исследовательских (блоки 3 и 4) и агрегирующих блока (блоки 6 и 7).

Каждый блок модели посвящен выполнению соответствующих задач.

В блоке 1 осуществляется расчет суммарного спроса на нефтепродукты исходя из корреляционных зависимостей между текущим спросом и фундаментальными макроэкономическими показателями: объемом ВВП и численностью населения. На основании ретроспективной динамики отношений объемов потребления нефтепродуктов к ВВП (нефтеемкости) и численности населения (душевого потребления) их будущие значе-



ния прогнозируются в форме трендов различного типа с последующим определением объемов долгосрочного суммарного спроса на нефтепродукты.

Блок 2 посвящен прогнозной оценке суммарного потребления нефтепродуктов путем агрегирования прогнозов спроса на отдельные их группы. Оценки формируются на базе прогнозов ВВП и численности населения через построение трендов от ретроспективных значений емкости ВВП и душевого потребления по каждой нефтепродуктовой группе. Еще одна методологическая особенность блока 2 обусловлена спецификой представления исходных данных по потреблению отдельных нефтепродуктов. Последние, как правило, отражаются в статистике в метрических тоннах, а не в энергетическом эквиваленте, что требует применения коэффициентов перевода, рассчитанных через теплотворную способность топлива, для сопоставления результатов прогнозов, полученных в блоках 1 и 2.

Блок 3 является подготовительным для проведения расчетов в блоках 4 и 5. На этом этапе осуществляется кластеризация узлов по методу *k*-среднего (*k-means*). Подробное математическое описание этого алгоритма, а также особенности его применения представлены в исследованиях [Hartigan, Wong, 1979; Telgarsky, Vattani, 2010]. Критериями расчета выступают экономические и энергетические характеристики узла: ВВП, нетто-экспорт нефти и нефтепродуктов, структура топливной корзины транспортного сектора и др. По итогам анализа исследуемые узлы объединяются в группы (кластеризация), используемые для определения специфичных показателей отдельных элементов кластера, информация о которых в случае конкретных узлов может быть труднодоступной. К таким показателям могут относиться, например, среднегодовой пробег автомобилей или срок их эксплуатации. Отметим, что число кластеров, состав узлов и критерии кластеризации могут меняться в зависимости от предпочтений исследователей или сформулированной научной задачи. Частный пример кластеризации стран по трем признакам — душевому ВВП, нетто-экспорту нефти и соотношению потребления бензина и дизельного топлива, — выполненный в рамках апробации описываемой системы прогнозирования спроса, рассмотрен в статье [Грушевенко, Грушевенко, 2015].

Результаты распределения географических узлов по кластерам используются в блоках 4 и 5. В случае если у исследователей возникают проблемы с доступом к информации, необходимой для прогнозирования по определенному узлу, на него экстраполируются средние значения кластера, к которому он принадлежит. В блоке 4 проводятся предварительные расчеты для прогнозирования спроса на топливо в автомобильном секторе, в частности, технико-экономические показатели автомобилей на различных видах топлива, вводятся сценарные предпосылки технологического развития транспорта, оцениваются потребительские предпочтения. Все эти параметры рассчитываются исходя из коэффициентов привлекательности автомобилей, использующих тот или иной вид топлива (с учетом перспективной модернизации технологий), стоимости владения ими и факторов, описывающих экономиче-

ски не формализуемые потребительские предпочтения, — доступности инфраструктуры, моды и т. д.

Важнейшая задача, решаемая в блоках 4 и 5, — учет межтопливной конкуренции, разворачивающейся между нефтепродуктами и их непрямыми субститутами. К последним относятся такие виды топлива, использование которых на транспорте сопряжено со значительными изменениями в потребительской инфраструктуре. К ним относятся электроэнергия и компримированный природный газ, применение которых требует существенных конструктивных модификаций автомобилей, строительства заправочной и обслуживающей инфраструктуры для повышения привлекательности в глазах потребителей. На основе анализа технико-экономических показателей и долгосрочных тенденций в развитии технологий использования этих топлив в блоке 4 создаются сценарные предпосылки, которые в форме коэффициентов применяются в последующих расчетах.

Конкуренция нефтепродуктов и их прямых субститутов, которые могут использоваться при имеющейся инфраструктуре, — биоэтанола и биодизеля, а также дизельного топлива и бензина, производимых по технологиям GTL и CTL, — учитывается после перенесения результатов расчетов в модели прогнозирования спроса на жидкие топлива в модель развития мирового рынка жидких топлив.

Выходными параметрами расчетов в блоке 5 являются:

- спрос на нефтепродукты и их прямые субституты по видам — бензин (биоэтанол, бензин, получаемый по технологиям GTL и CTL), дизельное топливо (био- и получаемый по технологиям GTL и CTL), сжиженные углеводородные газы;
- спрос на не прямые заменители нефтепродуктов по видам — компримированный природный газ, топливные элементы, электроэнергию, используемые в транспортном секторе.

Блок 5 охватывает расчеты прогнозных значений спроса на топлива для автомобильного транспорта, исходя из размеров и структуры автомобильного парка каждого узла, потребительских предпочтений и тенденций технологического развития сектора, рассматриваемых в рамках блока 4. В блоке 5 формируется прогноз спроса на автомобильные бензины и дизельное топливо (в том числе произведенные из угля, газа и биомассы), сжиженные углеводородные газы и на не прямые субституты нефтяных топлив, аналогичные по своему составу тем, которые учитываются при формировании коэффициентов привлекательности в блоке 4 (электроэнергия, компримированный газ, водород).

Полученные в блоке 5 прогнозные значения спроса на нефтепродукты передаются в блок 6 для сравнения с прогнозами спроса из блока 2. На этом основании в последнем осуществляется корректировка трендов емкости ВВП и душевого потребления для автомобильного бензина, дизельного топлива и сжиженных углеводородных газов.

Блок 7 объединяет результаты, которые были получены в блоках 2 (скорректированные в блоках 5 и 6) и 1 и уточнены за счет альтернативных не прямых

субститутов нефтепродуктов, указанных в блоках 4 и 5. Корректировка результатов из блока 1 достигается путем снижения полученных общих объемов спроса на нефтепродукты на величину спроса на непрямые заменители моторных топлив (электроэнергию, топливные элементы, сжиженный газ), выраженную в энергетическом эквиваленте (из блока 5). Объем спроса из блока 1, скорректированный на величину вымещаемых непрямыми субститутами нефтепродуктов, сопоставляется с результатами расчетов в блоке 2. При этом последние вводятся в блок 7 в виде суммарного спроса на все нефтепродукты, выраженного в энергетическом эквиваленте (для сопоставимости результатов). Сопоставление помогает выявить возможные грубые ошибки в расчетах.

При серьезных расхождениях в результатах, после экспертной оценки их причин, расчеты могут возвращаться в блоки 3–6 для повторного анализа заданных параметров или к алгоритму блока 1, где осуществляется корректировка трендов нефтеемкости ВВП либо душевого потребления нефтепродуктов. На основании экспертного заключения о качестве расчетов результаты сравнения в блоке 7 могут запускать корректировку расчетов трендов душевого потребления или емкости ВВП в разрезе отдельных продуктовых групп (блок 2).

Итоговые результаты модели представляют собой расчетные показатели спроса на жидкие топлива. Выходные параметры имеют одинаковую детализацию по географическому признаку и предназначаются для решения обширного круга аналитических задач. Так, модель позволяет определить:

- суммарный спрос на жидкие топлива (включая бензины и дизельное топливо, производимые из газа, угля и биомассы) с учетом технологических факторов и межтопливной конкуренции с непрямыми субститутами нефтепродуктов в транспортном секторе. Этот показатель может применяться в системных исследованиях будущих закономерностей развития энергетики для формирования и корректировки прогнозной структуры энергобаланса и определения роли нефтяных топлив в нем;
- спрос на нефтепродуктовые группы: автомобильные бензины и дизельное топливо (в том числе производимые из газа, угля и биомассы), сжиженные углеводородные газы, авиационные керосины, прямогонные бензины (нафту) и пр. Прогнозный спрос на нефтепродуктовые группы, выражаемый в энергетических и метрических единицах, служит для анализа соответствующих рынков, моделирования и прогнозирования сектора нефтепереработки;
- детализированный спрос на жидкие топлива: сжиженные углеводородные газы, автомобильные бензины и дизельное топливо (включая производимые из газа, угля и биомассы), используемые в качестве моторных топлив в секторе автомобильного транспорта. Выражается в метрических тоннах или в энергетическом эквиваленте, применяется при анализе тенденций развития транспортного сектора и прогнозирования рынков отдельных нефтепродуктов;

- спрос на ненефтяные топлива — непрямые субституты нефтепродуктов в транспортном секторе, требующие структурных изменений автопарка и обслуживающей инфраструктуры (электроэнергия, топливные элементы, сжиженный природный газ). Спрос на такие топлива выражается в энергетическом эквиваленте, а его оценки используются при анализе вектора инновационного развития энергетики, межтопливной конкуренции, прогнозирования рынков этих топлив и нефтепродуктов, формирования и корректировки структуры энергобаланса.

Оценки спроса на жидкие топлива (в том числе бензины и дизельное топливо, производимые из газа, угля и биомассы), уточненные с учетом конкуренции с непрямыми субститутами нефтепродуктов в транспортном секторе, поступают в модель развития мирового рынка жидких топлив с последующей его корректировкой и очисткой от спроса на прямые заменители нефтепродуктов. Такова статическая оптимизационная модель полного равновесия с целевой функцией на удовлетворение спроса по шести нефтепродуктовым группам с учетом минимизации суммарных затрат по всей цепочке поставок нефти и нефтепродуктов — от месторождения до потребителя.

Представленная в модели производственная цепочка охватывает:

- добычный блок, в котором происходит выбор вводимых в эксплуатацию месторождений с учетом затрат на добычу и ее потенциальных объемов. Прогнозирование последних осуществляется для крупнейших месторождений и нефтегазоносных провинций, основываясь на сведениях о запасах, динамике истощения и профилях добычи. Для существующих или подтвержденных добычных проектов профиль добычи на прогнозный период определяется исходя из данных компаний-операторов, для остальных — через построения прогнозного добычного профиля методом линеаризации Хьюбберта [Hubbert, 1962] и его более современными модификациями [Hook, 2009; Michel, 2010];
- транспортный блок, который связывает производство нефти и нефтепродуктов с их потреблением, имитируя транспортировку энергоносителей трубопроводным, железнодорожным и водным транспортом;
- блок нефтепереработки, который содержит информацию по 872 нефтеперерабатывающим заводам в разных странах и регионах мира. На этом этапе происходит имитация производства нефтепродуктов с учетом минимаксных ограничений и затрат на переработку. Минимаксные ограничения по выпуску нефтепродуктов устанавливаются исходя из потенциального отбора фракций из нефти, принимая во внимание ее химический состав и современные возможности переработки;
- блок межтопливной конкуренции, в котором происходит учет конкуренции нефтепродуктов с био- и синтетическими топливами из угля и газа. Именно в этом блоке поступающие в модель пока-

затели объема спроса на жидкие топлива подлежат дезагрегированию на спрос на нефтяные топлива и их полные субституты.

Для расчета различных сценариев и количественной оценки ожидаемых изменений конъюнктуры топливных рынков модель рынка жидких топлив позволяет варьировать объем и структуру потенциальной добычи нефти и ее переработки, корректировать транспортные мощности и направления поставок, изменять по сценариям условия замещения нефтепродуктов прямыми субститутами.

В части учета межтопливной конкуренции нефтепродуктов с прямыми субститутами в модели рассматривается возможность вымещения части объемов нефтепродуктов. Эта операция опирается на информацию о ценах переключения и максимальных потенциальных объемах производства альтернативных видов топлива. При оценке масштабов вымещения учитываются потенциальный объем и полная расчетная стоимость поставки нефтепродукта на рынок потребителя (включая затраты на добычу нефти, ее транспортировку и переработку), а также потенциальный объем и полная расчетная стоимость поставки на него конкурирующего энергоносителя (био- и топлива, произведенного по технологиям GTL и CTL). Сначала на рынок поступает наиболее дешевый из конкурирующих энергоносителей, а затем, в случае если его объемов окажется недостаточно для покрытия спроса, — энергоноситель с более высокими затратами на поставку.

Анализ сценарных изменений в отношении объемов и цен возможного перехода на альтернативные энергоносители позволяет создавать различные сценарии развития производства био- и синтетических топлив.

Сочетание модели прогнозирования спроса на жидкие топлива с моделью развития мирового рынка жидких топлив служит основой для прогнозирования спроса на нефть и нефтепродукты с учетом сценарных предпосылок о будущих технологических изменениях в части повышения энергоэффективности транспортных средств, изменения технологий производства и потребления конкурирующих с нефтепродуктами энергоносителей — как существующих, так и перспективных.

Возможности практического применения разработанной методики

Практическая апробация методики проводилась в рамках системы прогнозирования спроса на жидкие топлива, которая входит в состав мирового блока модельно-информационного комплекса SCANNER (рис. 3) [Макаров и др., 2011], модуль «Население — ВВП — энергопотребление — электропотребление — потребление жидких топлив» и тесно связана с балансовым и ресурсным нефтяными модулями [Макаров и др., 2013]. Ресурсный модуль представлен моделью рынков жидкого топлива, описанной в работе [Горячева и др., 2013].

Связь модели рынка жидких топлив и модели прогнозирования спроса на них осуществляется через рас-

четы спроса, полученные в названной системе прогнозирования, которые служат входными данными для первой из этих моделей. Помимо расчетов производственных показателей предложенная методика обеспечивает корректировку полученных оценок спроса на жидкие топлива с учетом межтопливной конкуренции (модель может содержать сведения о дополнительных объемах альтернативных топлив) и дезагрегацию этих оценок применительно к нефтепродуктам и их прямым субститутам.

Дезагрегация спроса по нефтепродуктовым группам позволяет использовать рассматриваемую систему для решения широкого круга научных и практических задач — от прогнозирования рынка конкретного нефтепродукта в определенной стране или регионе до системного изучения перспектив мирового нефтяного рынка и роли нефти в глобальном энергобалансе. Наличие подобного инструментария позволяет проводить Форсайт-исследования нефтяного комплекса с учетом перспективных технологических изменений, в частности, оценивать следствия разработки и внедрения разрабатываемых технологий на будущий спрос на нефть и ее производные и выявить технологии, способные оказать на него максимальное понижающее влияние. Разработанный подход делает возможным также анализ эффективности воздействия различной энергетической и технологической политики на развитие рынков.

Заключение

Инновации в сфере автомобильного транспорта способны оказать и уже оказывают существенное влияние на рынок нефтепродуктов, в частности, на спрос. Новые технологии для автомобильного сектора могут быть разделены на технологии энергосбережения и энергоэффективности, понижающие спрос на нефть за счет совершенствования традиционных автомобилей, и технологии межтопливной конкуренции, обеспечивающие замещение нефтепродуктов альтернативными видами топлива.

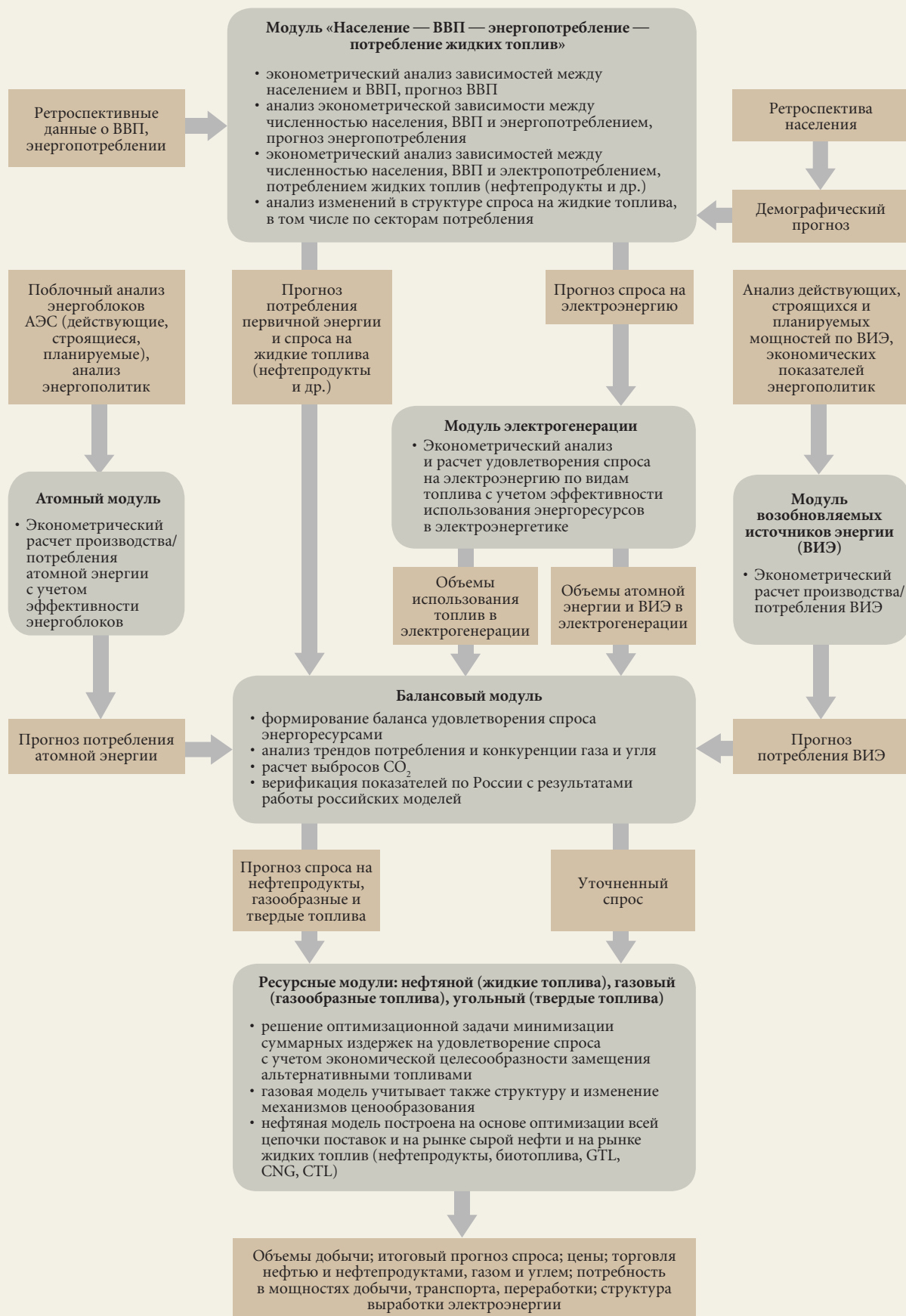
Различимые уже сегодня сигналы к замедлению динамики спроса на нефтепродукты под действием инновационного фактора требуют тщательного изучения, в том числе посредством экономико-математического моделирования. Проведение анализа перспективного спроса на нефтепродукты с учетом развития технологий предполагает модернизацию существующих методик его оценки.

Системный инструментарий, предложенный авторами настоящего исследования, обладает достоинствами различных методик прогнозирования спроса на нефтепродукты и нивелирует их недостатки за счет совмещения преимуществ альтернативных подходов в едином алгоритме. Все это в конечном счете способствует заметному повышению качества прогнозов развития энергетики с учетом фактора технологического прогресса.

Источники финансирования

Исследование подготовлено при грантовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-19-01459).

Рис. 3. Блок-схема расчетов модельно-информационного комплекса SCANNER



Примечание. Расчет в каждом блоке ведется по странам (узлам). Ресурсные модули содержат более подробную детализацию.

Источник: [Макаров и др., 2013].

- Бобылев Ю.Н., Приходько С.В., Дробышевский С.М., Тагор С.В. (2006) Факторы формирования цен на нефть. М.: Институт экономики переходного периода.
- Брагинский О.Б. (2012) Прогнозирование российского рынка автомобильных видов топлива. М.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН.
- Горячева А.О., Грушевенко Д.А., Грушевенко Е.В. (2013) Оценка влияния потенциальных шоков на мировой нефтяной рынок // Нефть, газ и бизнес. № 5. С. 37–42.
- Григорьев Л., Курдин А. (2013) Экономический рост и спрос на энергию // Экономический журнал ВШЭ. № 3. Р. 414–432.
- Грушевенко Д.А., Грушевенко Е.В. (2012) Нефть сланцевых плеев — новый вызов энергетическому рынку? М.: ИНЭИ РАН.
- Грушевенко Д.А., Грушевенко Е.В. (2015) Применение метода кластерного анализа при группировке стран для прогнозирования спроса на нефтепродукты // Нефть, газ и бизнес. № 2. С. 23–26.
- Макаров А.А., Веселов Ф.В., Елисеева О.А., Кулагин В.А., Малахов В.А., Митрова Т.А., Филиппов С.П., Плакиткина Л.С. (2011) Модельно-информационный комплекс SCANNER. М.: ИНЭИ РАН.
- Макаров А.А., Митрова Т.А., Григорьев Л.М., Филиппов С.П. (2013) Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. М.: ИНЭИ РАН, Аналитический центр при Правительстве РФ.
- Митрова Т., Галкина А. (2013) Межтопливная конкуренция // Экономический журнал ВШЭ. № 3. С. 394–413.
- APS (2008) Energy Future: Think Efficiency. College Park, MD: American Physical Society.
- Behrang M.A., Assareh E., Ghalambaz M., Assari M.R., Noghrehabadi A.R. (2011) Forecasting future oil demand in Iran using GSA (Gravitational Search Algorithm) // Energy. Vol. 36. P. 5649–5654.
- Bhattacharyya S.C., Timilsina G.R. (2009a) Energy Demand Models for Policy Formulation. Policy Research Working Paper. Washington, D.C.: World Bank.
- Bhattacharyya S.C., Timilsina G.R. (2009b) Modeling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured? // Energy Policy. Vol. 38. P. 1979–1990.
- Bouachera T., Mazraati M. (2007) Fuel demand and car ownership modeling in India // OPEC Review. Vol. 31. № 1. P. 27–51.
- Button K., Ndoh N., Hine J. (1993) Modeling vehicle ownership and use in low income countries // Journal of Transport Economics and Policy. № 27. P. 51–67.
- Cleveland C.J., Kaufmann R.K., Stern D.I. (2000) Aggregation and the role of energy in the economy // Ecological Economics. Vol. 32. P. 301–317.
- Cleveland C.J., O'Connor P. (2010) An Assessment of the Energy Return on Investment (EROI) of Oil Shale. Boston, MA: Boston University.
- DOE (2014a) Energy Information Administration International Energy Outlook. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.
- DOE (2014b) Transportation Demand Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.
- Forouzanfar M., Doustmohammadi A., Hasanzadeh S., Shakouri H. (2012) Transport energy demand forecast using multi-level genetic programming // Applied Energy. Vol. 91. № 1. P. 496–503.
- Hartigan J.A., Wong M.A. (1979) Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm // Applied Statistics. Vol. 28. № 1. P. 100–108.
- Hook M. (2009) Depletion and Decline Curve Analysis in Crude Oil Production. Uppsala: Uppsala University.
- Hubbert M.K. (1962) Energy Resources. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, National Research Council.
- IEA (2013) Recourses to Reserves Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future. Paris: International Energy Agency.
- IEA (2014) World Energy Outlook 2014. Paris: International Energy Agency.
- Kong Z., Dong X., Xu B., Li R., Yin Q., Song C. (2015) EROI Analysis for Direct Coal Liquefaction without and with CCS: The Case of the Shenhua DCL Project in China // Energies. № 8. P. 786–807.
- Michel B. (2010) Oil Production: A probabilistic model of the Hubbert curve. Paris: Universite Pierre et Marie Curie.
- Nakanishi T. (2006) Supply and Demand Analysis on Petroleum Products and Crude Oils for Asia and the World. Tokyo: Institute of Energy Economy.
- OECD, IEA (2010) Sustainable Production of Second Generation Biofuels Potential and Perspectives in Major Economies and Developing Countries. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency.
- OECD, IEA (2011) World Energy Model – Methodology and Assumptions. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency.
- OPEC (2014) World Oil Outlook 2014. Vienna: Organization of the Petroleum Exporting Countries.
- Raugei M., Fullana-i-Palmer P., Fthenakis V. (2011) The Energy Return on Energy Investment (EROI) of Photovoltaics: Methodology and Comparisons with Fossil Fuel Life Cycles. Upton, NY: Brookhaven National Laboratory.
- Telgarsky M., Vattani A. (2010) Hartigan's Method: K-means Clustering without Voronoi // JMLR Workshop and Conference Proceedings. Vol. 9. P. 820–827.
- Wang M., Huo H., Johnson L., He D. (2006) Projections of Chinese Motor Vehicle Growth, Oil Demand, and CO₂ Emissions through 2050 // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. № 2038. P. 69–77.
- World Energy Council (2011) Energy & Mobility. Background material report. London: World Energy Council.

Technological Innovation as a Factor of Demand for Energy Sources in Automotive Industry

Tatiana Mitrova

Head, Department for Oil and Gas Sector Development in Russia and the World, ERI RAS*. E-mail: mitrovat@me.com

Vyacheslav Kulagin

Head, Center for Energy Market Studies, ERI RAS; and Deputy Head, IE HSE**. E-mail: vakulagin@hse.ru

Dmitry Grushevenko

Junior Research Fellow, ERI RAS; and Leading Expert, IE HSE. E-mail: grushevenkod@gmail.com

Ekaterina Grushevenko

Research fellow, ERI RAS; and Senior Lecturer, Gubkin University***. E-mail: grushevenko@gmail.com

* ERI RAS — Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Address: 31, bld. 2, Nagornaya st., Moscow 117186, Russian Federation

** IE HSE — Institute of Energy of the National Research University Higher School of Economics. Address: 20, Myasnitskaya str., Moscow 101000, Russian Federation

*** Gubkin University — Federal state budgetary educational institution of higher vocational education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas». Address: 65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russian Federation

Abstract

The issue of forecasting demand for liquid fuels has become particularly significant in recent years with technological development and much tougher inter-fuel competition in the transport sector. In future, these developments could radically transform the oil, gas, and electricity markets. Therefore there is a greater need for improved forecasting methods that take into account the dynamics of market factors, primarily those related to the use of new technologies.

We analyse the difficulties of forecasting demand for liquid fuels in conditions of uncertainty related to future technological developments in car transport. We classify the technologies driving demand for motor fuels by the nature of their impact on the demand for petroleum products: technologies aimed at improving the energy

efficiency of traditional cars, as well as drivers of inter-fuel competition, both in terms of direct and indirect substitutes for petroleum products.

To resolve the problem of limited input information, the methodology incorporates clustering instruments, which enable us to group countries according to certain criteria. The use of economic and mathematical tools with optimizing units enables us to make integrated calculations that model the market for liquid fuels and assess its interactions with the markets of other energy resources.

Our proposed system for forecasting demand for liquid fuels, including petroleum products, can be used as an instrument to assess the future impact of technological innovation on the development of the oil industry when carrying out Foresight studies.

Keywords

oil products; alternative fuel; automotive transport; forecast of demand; technology; energy efficiency

DOI: 10.17323/1995-459X.2015.4.18.31

Citation

Mitrova T., Kulagin V., Grushevenko D., Grushevenko E. (2015) Technology Innovation as a Factor of Demand for Energy Sources in Automotive Industry. *Foresight and STI Governance*, vol. 9, no 4, pp. 20–33. DOI: 10.17323/1995-459x.2015.4.18.31

References

- APS (2008) *Energy Future: Think Efficiency*, College Park, MD: American Physical Society.
- Behrang M.A., Assareh E., Ghalambaz M., Assari M.R., Noghrehabadi A.R. (2011) Forecasting future oil demand in Iran using GSA (Gravitational Search Algorithm). *Energy*, vol. 36, pp. 5649–5654.
- Bhattacharyya S.C., Timilsina G.R. (2009a) *Energy Demand Models for Policy Formulation* (Policy Research Working Paper), Washington, D.C.: World Bank.
- Bhattacharyya S.C., Timilsina G.R. (2009b) Modeling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured? *Energy Policy*, vol. 38, pp. 1979–1990.
- Bobylev Yu., Prikhodko S., Drobyshevski S., Tagor S. (2006) *Faktory formirovaniya tsen na neft'* [Factors of formation of oil prices], Moscow: Institute for Economy in Transition (in Russian).
- Bouachera T., Mazraati M. (2007) Fuel demand and car ownership modeling in India. *OPEC Review*, vol. 31, no 1, pp. 27–51.
- Braginsky O. (2012) *Prognozirovaniye rossiiskogo rynka avtomobil'nykh vidov topliva* [Forecasting the Russian engine fuels market], Moscow: Institute of Economic Forecasting (in Russian).
- Button K., Ndoh N., Hine J. (1993) Modeling vehicle ownership and use in low income countries. *Journal of Transport Economics and Policy*, no 27, pp. 51–67.
- Cleveland C.J., Kaufmann R.K., Stern D.I. (2000) Aggregation and the role of energy in the economy. *Ecological Economics*, vol. 32, pp. 301–317.
- Cleveland C.J., O'Connor P. (2010) *An Assessment of the Energy Return on Investment (EROI) of Oil Shale*, Boston, MA: Boston University.
- DOE (2014a) *Energy Information Administration International Energy Outlook*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.
- DOE (2014b) *Transportation Demand Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.
- Forouzanfar M., Doustmohammadi A., Hasanzadeh S., Shakouri H. (2012) Transport energy demand forecast using multi-level genetic programming. *Applied Energy*, vol. 91, no 1, pp. 496–503.
- Goryacheva A., Grushevenko D., Grushevenko E. (2013) Otsenka vliyaniya potentsial'nykh shokov na mirovoi neftyanoi rynek [Assessment of potential shocks on the world oil market using the WOM]. *Neft', Gaz i Biznes* [Oil, Gas and Business], no 5, pp. 37–42 (in Russian).
- Grigoriev L., Kurdin A. (2013) Ekonomicheskii rost i spros na energiyu [Economic Growth and Demand for Energy]. *HSE Economic Journal*, no 3, pp. 414–432 (in Russian).
- Grushevenko D., Grushevenko E. (2012) *Neft' slantsevykh pleev — novyi vyzov energeticheskomu rynku* [Oil of shale plays — New challenge for the world energy market], Moscow: ERI RAS (in Russian).
- Grushevenko D., Grushevenko E. (2015) Primeneniye metoda klasternogo analiza pri gruppirovke stran dlya prognozirovaniya sprosa na nefteprodukty [Countries grouping for petroleum products demand forecasting using cluster analysis], *Neft', Gaz i Biznes* [Oil, Gas and Business], no 2, pp. 23–26 (in Russian).
- Hartigan J.A., Wong M.A. (1979) Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Applied Statistics*, vol. 28, no 1, pp. 100–108.
- Hook M. (2009) *Depletion and Decline Curve Analysis in Crude Oil Production*, Uppsala: Uppsala University.
- Hubbert M.K. (1962) *Energy Resources*, Washington, D.C.: National Academy of Sciences, National Research Council.
- IEA (2013) *Recourses to Reserves Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*, Paris: International Energy Agency.
- IEA (2014) *World Energy Outlook 2014*, Paris: International Energy Agency.
- Kong Z., Dong X., Xu B., Li R., Yin Q., Song C. (2015) EROI Analysis for Direct Coal Liquefaction without and with CCS: The Case of the Shenhua DCL Project in China. *Energies*, no 8, pp. 786–807.
- Makarov A., Mitrova T., Grigoriev L., Filippov S. (2013) *Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii do 2040 goda* [Global and Russian Energy outlook up to 2040], Moscow: ERI RAS, Analytical Centre of the RF Government (in Russian).
- Makarov A., Veselov F., Eliseeva O., Kulagin V., Malakhov V., Mitrova T., Filippov S., Plakitkina L. (2011) *Model'no-informatsionnyi kompleks SCANNER* [SCANNER Super Complex For Active Navigation in Energy Research], Moscow: ERI RAS (in Russian).
- Michel B. (2010) *Oil Production: A probabilistic model of the Hubbert curve*, Paris: Universite Pierre et Marie Curie.
- Mitrova T., Galkina A. (2013) Inter-fuel Competition. *HSE Economic Journal*, no 3, pp. 394–413.
- Nakanishi T. (2006) *Supply and Demand Analysis on Petroleum Products and Crude Oils for Asia and the World*, Tokyo: Institute of Energy Economy.
- OECD, IEA (2010) *Sustainable Production of Second Generation Biofuels Potential and Perspectives in Major Economies and Developing Countries*, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency.
- OECD, IEA (2011) *World Energy Model – Methodology and Assumptions*, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency.
- OPEC (2014) *World Oil Outlook 2014*, Vienna: Organization of the Petroleum Exporting Countries.
- Raugei M., Fullana-i-Palmer P., Ethenakis V. (2011) *The Energy Return on Energy Investment (EROI) of Photovoltaics: Methodology and Comparisons with Fossil Fuel Life Cycles*, Upton, NY: Brookhaven National Laboratory.
- Telgarsky M., Vattani A. (2010) Hartigan's Method: K-means Clustering without Voronoi. *JMLR Workshop and Conference Proceedings*, vol. 9, pp. 820–827.
- Wang M., Huo H., Johnson L., He D. (2006) Projections of Chinese Motor Vehicle Growth, Oil Demand, and CO₂ Emissions through 2050. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no 2038, pp. 69–77.
- World Energy Council (2011) *Energy & Mobility* (Background material report), London: World Energy Council.