

В.А. КУЛАГИН  
V.A. KULAGIN

УДК 620.9 (100)

# ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

## В УСЛОВИЯХ УСКОРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

**Вячеслав Александрович  
КУЛАГИН** –  
заведующий отделом  
исследования энергетического  
комплекса мира и России  
ИНЭИ РАН, директор Центра  
энергетических исследований  
ИПЦИРЕМ НИУ ВШЭ,  
e-mail: vakulagin@ineiran.ru



**Vyacheslav KULAGIN** –  
Head of the Department  
for the Study of the Energy  
Complex of the World and  
Russia, The Energy Research  
Institute of the Russian  
Academy of Sciences,  
e-mail: vakulagin@ineiran.ru

# TRANSFORMATION OF ENERGY

## AMID FASTER TECHNOLOGICAL PROGRESS

**Аннотация.** В статье рассматриваются направления трансформации мирового энергетического комплекса под влиянием технологического развития. Представлены проведенные с использованием оптимизационного экономико-математического моделирования расчеты изменения рынков в долгосрочной перспективе, показана роль энергополитики как в стимулировании отдельных направлений технологического развития, так и в повышении конкурентоспособности технологических решений. Описаны ожидаемые структурные изменения рынков энергоресурсов и дан анализ перспектив развития отдельных направлений энергетики.

**Ключевые слова:** трансформация энергетики, рынки энергоресурсов, прогноз, энергетическая политика, технологии.

### Введение

Технологии открывают новые возможности перед энергетическим комплексом и одновременно создают целый ряд вызовов для работающих в нём компаний. Во многом благодаря прогрессу в области энергоэффективности большинству стран ОЭСР на фоне продолжающегося экономического роста удается выйти на устойчивый тренд снижения энергопотребления. Однако быстрый рост населения и экономик стран не-

ОЭСР предопределяет мировое увеличение потребления энергии в ближайшие 20 лет. На фоне продолжающегося длительное время роста спроса на энергоресурсы (в период 1990–2018 гг. потребление в мире выросло в 16 раз, а за 1950–2018 гг. более чем в 6 раз) уже не одно десятилетие ожидается прохождение пика возможностей добычи нефти и газа. Но появление экономически приемлемых технологий производства нетрадиционных ресурсов, глубоководного бурения, повышение эффективности разработки месторождений позволило сдвинуть ресурсные ограничения ближе ко второй половине XXI века. Тем не менее миру в ближайшие десятилетия предстоит пройти пики потребления ископаемых топлив, но обусловлены они уже будут не нехваткой запасов, а ограничениями по спросу. Во многом на это повлияет активное развитие неископаемой энергетики. Таким образом, мир постепенно входит в этап реальной межтопливной конкуренции, которая и будет предопределять новые схемы работы энергетического комплекса, роль каждого энергоресурса и его ниши. От верного понимания предстоящих изменений в значительной степени будет зависеть успешность развития не только целых направлений бизнеса, но и экономик многих государств.

### Методология и инструментарий

Разработанный в ИНЭИ РАН модельный инструментарий [1, 2, 3] позволяет формировать долгосрочные сценарии развития мировой энергетики с уче-

том параметров технологического развития (рис. 1). При этом моделировать перспективы рынков можно в различных условиях социально-демографического развития и энергетической политики.

Технологический прогресс влияет на все сегменты энергетики – от геологоразведки и добычи до конечного спроса. При этом многие технологии конкурируют между собой. Именно поэтому в методологии

**Мир входит  
в этап реальной  
межтопливной  
конкуренции,  
которая будет  
определять новые  
схемы работы  
энергетического  
комплекса**

прогнозирования ИНЭИ РАН модуль технологий выделен отдельно и в нем формируются основные технологические параметры, на основе которых далее задаются вводные параметры для расчетного блока. Например, для месторождений технологии влияют на объемы доступной добычи, показатели затрат, динамику отбора. Технологии в транспортном секторе влияют на конкурентоспособность видов транспорта, их привлекательность для потребителя по различным показателям [4]. Это отражается в расходе топлива, стоимости транспортного средства, его экологических показателях (ограничениях), потребительских свойствах. Блок электроэнергетики на выходе из технологического модуля получает динамику затрат на производство по видам технологий

**Abstract.** The article focuses on areas of transformation of the global energy complex under the influence of technological development. Calculations of long-term market changes carried out with the use of the optimisation economic and mathematical modeling are presented. The role of energy policy is shown both in stimulating individual areas of technological development and in improving the competitiveness of technological solutions. The anticipated structural changes in the energy markets are described and an analysis of the prospects for individual energy sectors is given.

**Keywords:** Energy transformation, energy markets, forecast, energy policy, technology.

для источников электроэнергии с учетом страновых особенностей, параметры накопителей, усредненные данные по неравномерности производства различными источниками, сроки эксплуатации оборудования. Всё это позволяет оценивать конкурентоспособность вариантов производства электроэнергии с учетом набора технологических ограничений, в частности системных эффектов работы [5].

Достаточно сильное влияние на технологический прогресс оказывает энергетическая политика и геополитика. Например, санкционные ограничения могут блокировать трансфер технологий из одной страны в другую, а инструменты регуляторного стимули-

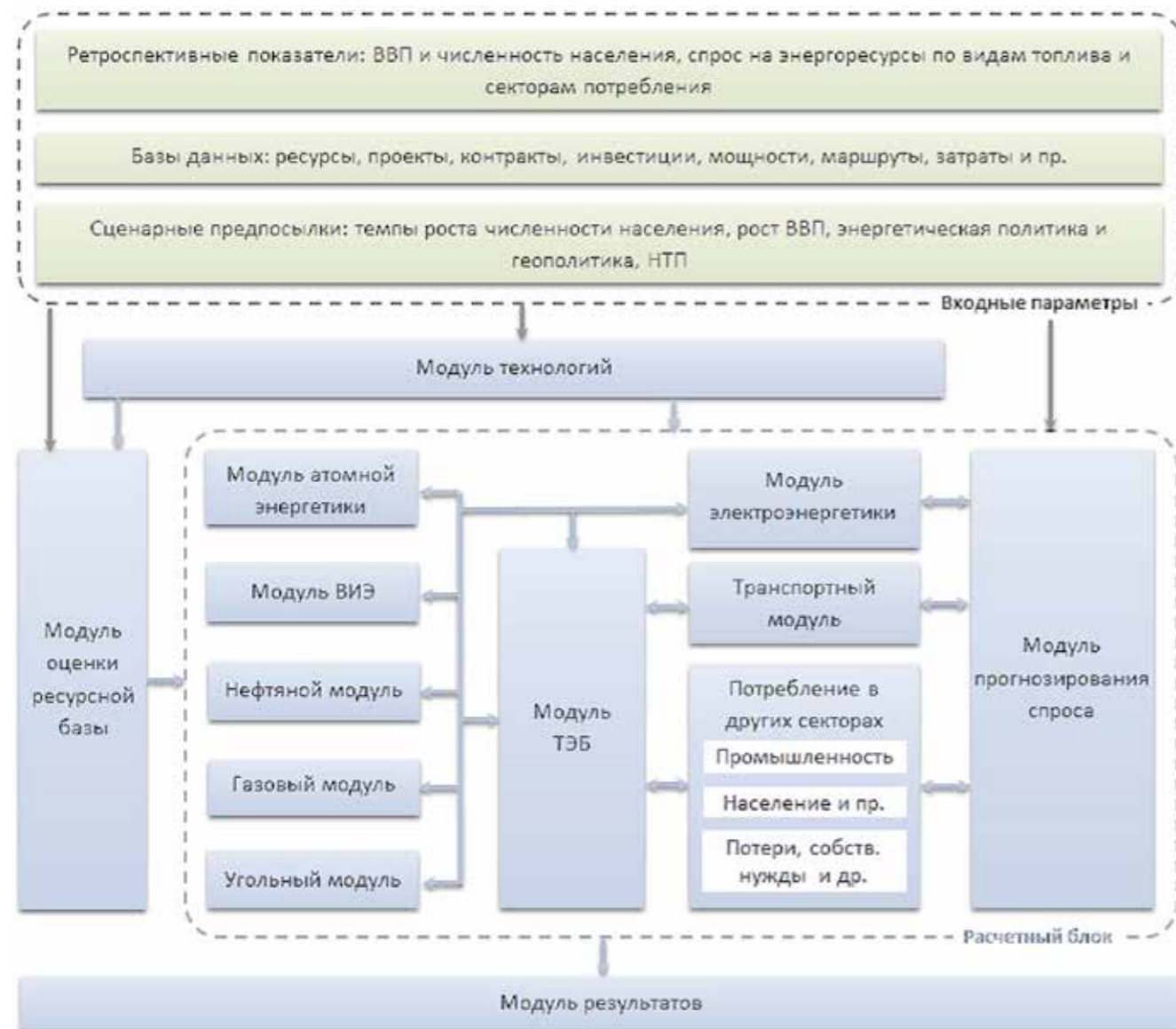


Рис. 1. Укрупненная методология прогнозирования мировой энергетики в рамках модельного комплекса SCANER

рования и ограничений способны сильно поменять конкурентоспособность отдельных решений. Именно поэтому модуль технологий в модельном комплексе не является статическим, а зависит от задаваемых сценарных условий. Воздействие регуляторных инструментов находит отражение в соответствующих базах данных.

### Эволюция энергетики под влиянием технологического прогресса

Для оценки изменений энергетики под влиянием технологического фактора на основе модельного комплекса ИНЭИ РАН проведены расчеты по двум сценариям на период до 2040 г.. Сценарий Традиционный предполагает развитие энергетики в рамках

существующих энергополитик и поступательного совершенствования технологий. Сценарий Энергопереход основан на ускоренном развитии технологий и активной энергополитике, направленной на формирование и достижение более амбициозных целей в соответствии с имеющимися приоритетами.

Одним из важнейших драйверов формируемых задач в области энергетики всё в большей степени становятся экологические цели. Для большинства развитых стран – это видение успешного развития, сопровождающегося минимизацией негативного воздействия на климат и обеспечением экологически благоприятных условий для населения. В развивающихся странах с высоким уровнем дохода на душу населения, например для Китая, забота об экологии становится условием дальнейшего выживания нации

из-за очень высоких объемов выбросов, особенно в мегаполисах. Для более бедных стран вопросы экологии уходят на второй план в сравнении с более насущными задачами по борьбе с бедностью, в том числе энергетической, и т. д. И здесь экологические механизмы работают чаще только как часть международных программ поддержки.

Достижение целей в области снижения выбросов стимулируются налоговыми механизмами (повышенные налоги на отдельные топлива), развитием систем платы за выбросы и торговли выбросами, ужесточением стандартов, субсидированием и другими инструментами поддержки низкоуглеродных и безуглеродных источников энергии и оборудования. В странах, где значительную роль играют государственные компании, рыночные инструменты регулирования в значительной степени замещаются директивными.

Помимо экологии к числу факторов, в значительной степени влияющих на энергетическую политику и структуру потребляемых топлив, следует отнести вопросы зависимости от импорта и экономического развития. Например, в ряде случаев для национального ВВП более привлекательны разработка и использование собственных ресурсов, даже если импортируемые дешевле.

Наглядным примером совмещения нескольких целей энергополитик является поддержка развития электротранспорта. С одной стороны, это решение проблем с выбросами внутри городов, с другой сто-

роны – снижение зависимости от нефти и расширение использования электроэнергии, в том числе производимой на ВИЭ. По состоянию на 2019 г. более 30-ти стран мира объявили о различных мерах поддержки электротранспорта – льготы для покупателей и производителей автомобилей, бесплатная зарядка, отмена высоких сборов за регистрацию (особенно актуально для таких стран, как Китай), бесплатные парковки и т.д. Некоторые страны заявили о полном запрете на продажу автомобилей с ДВС в 2030–2050 гг. Государственная политика стимулирует и технологический прогресс в этой области. На уровне 2–3 колесных транспортных средств уже сегодня достигнута их экономическая конкурентоспособность в сравнении с бензиновыми аналогами с учетом потребительских свойств. Автомобиль на электричестве пока конкурировать с аналогами сложно и требуется поддержка. Причем, следует отметить, что электротранспорт не только вытесняет ДВС, но и становится серьезной альтернативой новым технологиям в области

газомоторного и водородного транспорта.

Именно электротранспорт является причиной одного из наиболее существенных ожидаемых изменений на энергетическом рынке – снижения спроса на нефть. При этом формируется новая волна спроса на электроэнергию, отодвигающая прохождение его пиков. Снижению спроса на нефтепродукты способствует и постоянное повышение энергетической эффективности транспортных средств. В результате нефть неизбежно сокращает свою долю в энергобалансе и с большой вероятностью уже в ближайшие 10–15 лет пройдет миро-

Санкционные ограничения могут заблокировать трансфер технологий из одной страны в другую, а регуляторные инструменты способны поменять конкурентоспособность отдельных решений

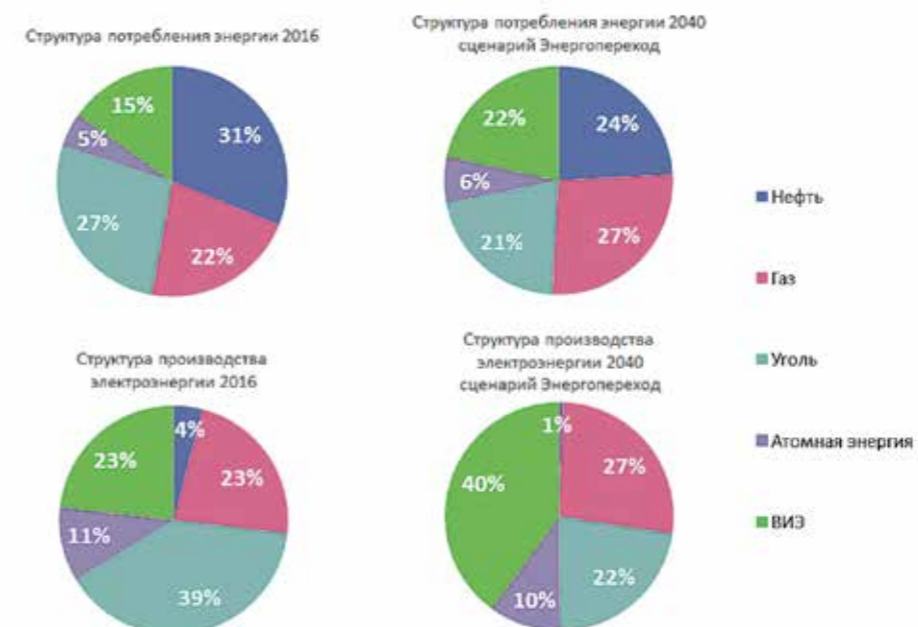


Рис. 2. Изменение структуры первичного энергопотребления и электропотребления в сценарии Энергопереход к 2040 г.

Источник: [3]



вой пик своего потребления (рис. 2). Устойчиво теряет свои позиции и уголь. Несмотря на то, что технически относительно «чистые» угольные технологии удалось разработать (включая фильтрацию, захоронение вредных выбросов и пр.), они оказались очень дороги и небезупречны с экологической точки зрения.

Благоприятнее ситуация для газа. Метан более экологически «чистый» вид топлива, чем нефть и уголь, поэтому имеет потенциал для вытеснения их из энергобаланса. К тому же рост спроса на электроэнергию, в том числе за счет электротранспорта, положительно влияет на потребность во всех источниках её производства, включая газ. Но значительно сложнее газу конкурировать с ВИЭ, которые имеют во многих странах мощную государственную поддержку.

**Более 30 стран мира объявили о мерах поддержки электротранспорта**

или требуются новые решения в области накопления электроэнергии. Работы в области хранения электроэнергии активизировались в последнее время. Причем

параллельно изучаются десятки перспективных технологий [3]. Понятно, что это приведет к удешевлению стоимости хранения относительно текущих уровней, но полностью отказаться от резервирования за счет ископаемых топлив пока малореально из-за возможных длительных периодов низкого

производства на ВИЭ. Расширение использование ВИЭ неизбежно дает и ценовые эффекты. В частности, в Европе ВИЭ обостряет проблему сезонного спроса на газ, который сильно будет снижаться летом и расти зимой. В результате цены на газ в условиях спотового рынка будут стремиться вниз летом (пробивая ино-



Достаточно сильно изменится ситуация в электроэнергетике. Если раньше спрос определял равномерность нагрузки в системе, то теперь к этому дисбалансу добавляется второй на стороне производства ВИЭ. Причем дисбаланс этот характеризуется высокой неопределенностью, т.к. связан с погодными условиями – а это и сезонность, и наличие облачности, и сила ветра и т. д. В результате во многих странах почти 100% мощностей ВИЭ потребует резервирования. На фоне снижения потребления угля единственной альтернативой становится природный газ,

гда и уровень 100 долл./тыс. м³) и резко расти зимой (достигая 300 долл./тыс. м³) в отличие от предыдущих десятилетий, когда они были привязаны к неподверженному такой сезонности нефтяному рынку.

Цены на нефть смогут приблизиться к уровню 100 долл./барр. только в сценарии Традиционный, благодаря росту спроса и потребности в переходе на более сложные запасы. А в сценарии Энергопереход, в том числе из-за ускоренного роста парка электромобилей, на рынке неизбежен почти постоянный профицит и уже цена 60 долл./барр. бу-

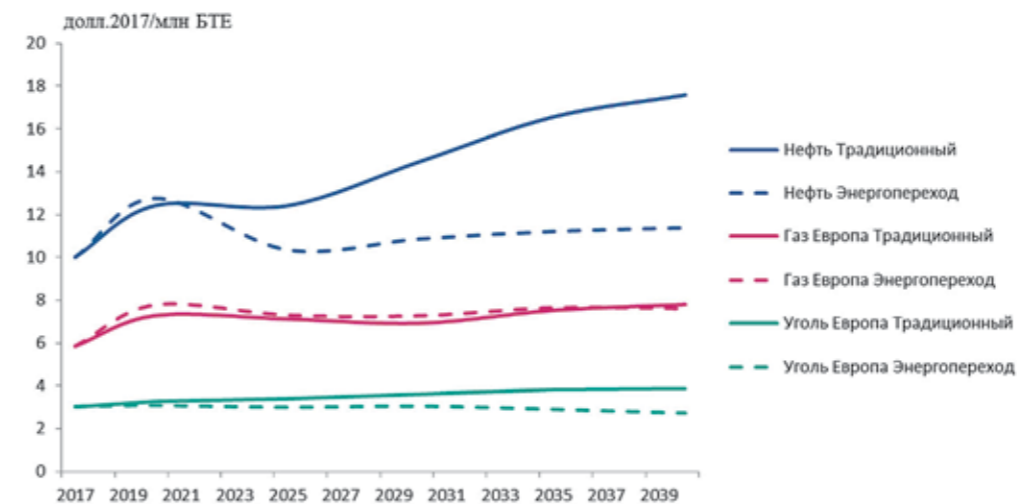


Рис. 3. Изменение равновесных среднегодовых цен на нефть, газ и уголь по трем сценариям

Источник: [3].

дет считаться благоприятной для производителей (рис.3). Цены угля останутся на текущих достаточно низких уровнях, во многом определяемых затратами, а в сценарии Энергопереход будут снижаться. Ни в одном из сценариев цены на нефть, газ и уголь не возвращаются на высокие уровни 2012–2014 гг. Во многом причиной этого является усиление как межтопливной конкуренции, так и конкуренции между производителями каждого из видов топлив.

Активная трансформация рынков предопределяет неустойчивость в части спроса и цен на ископаемые

**Нефть неизбежно сокращает свою долю в энергобалансе и вероятно в ближайшие 10–15 лет пройдет мировой пик потребления**

топлива. В этих условиях наиболее привлекательными для инвесторов становятся короткие проекты с окупаемостью в течение нескольких лет, пусть и с небольшой маржинальностью, например по разработке сланцевых плевей, где риски можно сразу захеджировать и ввод осуществлять в периоды благоприятной рыночной динамики. Значительно сложнее будет запускать долгосрочные требующие многомиллиардных инвестиций проекты, например добычи на крупных месторождениях, или строительства АЭС.

В рассмотренных сценариях производство нефти и газа низкопроницаемых коллекторов растет на всем прогнозируемом периоде, но более 70% добычи обеспечивают страны Северной Америки. Из-за ресурсных и регуляторных особенностей в других регионах такой успех повторить не удастся. Только Китай, Аргентина и несколько других стран могут в совокупности обеспечить оставшиеся 25–30%. Всего на низкопроницаемых коллекторах к 2040 г. ожидается производство около 10% мировой нефти и 19% газа.

Достаточно сильно изменится электросистема в части организации своей работы. Сильно увеличится число





источников подачи в сеть за счет распределенных ВИЭ. Интернет вещей позволит оптимизировать спросовую нагрузку, а бытовые накопители электроэнергии не только будут сглаживать потребление, но и смогут отдавать элект

**Активная трансформация рынков предопределяет неустойчивость в части спроса и цен на ископаемые топлива**

энергию назад в сеть в период высоких тарифов и неустойчивости для собственника. В результате система станет более гибкой и, при правильной организации, более устойчивой. Но одновременно рождаются и новые задачи по обеспечению безопасности таких систем и защищенности от сетевых атак, а также функционированию и окупаемости всех резервных механизмов, особенно на основе ископаемых топлив.

Благодаря развитию технологий существенно расширяются возможности по организации децентрализованного энергоснабжения. Причем, в зависимости от потребительских требований и доступности ресурсов, это может быть организовано за счет ископаемых топлив, ВИЭ или их комбинации.



Показанный сценарий Энергопереход во многом является неизбежным направлением развития энергетики. Вопрос только в скорости движения к этим ориентирам. В зависимости от технологического развития и энергополитик он может быть реализован как на 5–7 лет раньше 2040 г., так и позже.



Таким образом, становится очевидно, что мир вступил в новый этап энергетической трансформации, которая будет одновременно осуществляться по нескольким направлениям. При этом происходить это будет в условиях сильной конкуренции технологической фактически на всех стадиях потребления, произ-

водства и поставок энергоресурсов. От способности адаптироваться к такому быстро меняющемуся миру будет зависеть как успешность бизнеса компаний энергетического сектора, так и способность государств обеспечивать эффективное развитие своих экономик.

**Литература**

1. А. Макаров, С. Филиппов, Т. Митрова, В. Веселов, А. Малахов, В. Кулагин. SCANER модельно-информационный комплекс, М., ИНЭИ РАН, 2011.
2. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой. М. ИНЭИ, РАН-АЦ при Правительстве РФ, 2015. 400 с.
3. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / Под ред. В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН, 2019.
4. Т. Митрова, В. Кулагин, Д. Грушевенко, Е. Грушевенко, Технологические инновации как фактор спроса на энергоносители в секторе автомобильного транспорта / Форсайт, 2015. Т. 9. № 4. С. 18–30.
5. А. Макаров, Т. Митрова, Ф. Веселов, А. Галкина, В. Кулагин, Перспективы электроэнергетики в условиях трансформации мировых энергетических рынков / Теплоэнергетика. 2017. № 10. С. 5–16.

