

ЧТО НУЖНО СДЕЛАТЬ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ СТРАНЫ

© 2016 г. О.Н. Фаворский^а, В.М. Батенин^б, В.М. Масленников^б,
В.В. Кудрявый^с, С.П. Филиппов^д

^аОтделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Москва, Россия

^бОбъединённый институт высоких температур РАН, Москва, Россия

^сНациональный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

^дИнститут энергетических исследований РАН, Москва, Россия

e-mail: ptped@oem.ras.ru; vbat@oivtran.ru; ivtmaslen@mail.ru;
nefedova@eurocem.ru; fil@eriras.ru

Поступила в редакцию 22.04.2016 г.

Ещё несколько лет назад в соответствии с заказом Правительства РФ разрабатывались концепции развития энергетики России с удвоением или даже с утроением производства электроэнергии к 2030 г. Сегодня эти концепции пересматриваются. В связи с резким падением промышленного производства создаётся иллюзия относительного благополучия с энергообеспечением: возможности производства более чем на 20% превышают потребности. Однако это достигается за счёт эксплуатации отработавшего ресурса и морально устаревшего оборудования. Износ основных фондов в энергетике превышает критическую отметку 60%. В статье анализируются основные негативные тенденции в развитии России и предлагается ряд мер по выходу из сложившейся ситуации.

Ключевые слова: энергетическая стратегия, инновации, инвестиционный фонд, парогазовые установки, энерготехнология.

DOI: 10.7868/S0869587316100078

Действующим документом, предписывающим основные направления развития энергетики страны, является “Энергетическая стратегия России на период до 2030 года”, утверждённая распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Кроме того, научно-технологическое развитие отраслей ТЭК определяют указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 “Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечень критических технологий Российской Федерации”, “Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года”, распоряжение Правительства РФ от 3 июля

ФАВОРСКИЙ Олег Николаевич – академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН. БАТЕНИН Вячеслав Михайлович – член-корреспондент РАН, советник РАН. МАСЛЕННИКОВ Виктор Михайлович – доктор технических наук, главный научный сотрудник ОИВТ РАН. КУДРЯВЫЙ Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры АСУ ТП НИУ “МЭИ”. ФИЛИППОВ Сергей Петрович – член-корреспондент РАН, директор ИНЭИ РАН.

2014 г. № 1217-р «Об утверждении плана мероприятий (“дорожной карты”) “Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса”», а также государственные программы “Энергоэффективность и развитие энергетики”, “Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности”, “Развитие науки и технологий”. Целевое видение стратегии развития электроэнергетики России до 2030 г. и описание таких важнейших разделов прогноза научно-технического развития, как энергоэффективность и энергосбережение, содержатся в [1, 2].

В соответствии с Федеральным законом “О стратегическом планировании в Российской Федерации” от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ в 2015 г. разработаны проекты энергетической стратегии на период до 2035 г., прогноз научно-технического развития отраслей ТЭК, а также видение развития энергетики до 2050 г. Ни один из этих документов не только не принят, но по-настоящему и не обсуждён. Это убеждает нас в том, что традиционный подход к разработке подобных документов и требованиям их реализации без реше-

ния некоторых принципиальных вопросов является тупиковым.

Проанализируем причины критической ситуации в развитии энергетики России и попытаемся обосновать принятие ряда мер для её вывода из этого состояния. Посмотрим, были ли мы правы, выдвигая свою точку зрения в статье “С чего следовало бы начать реализацию энергетической стратегии России” [3].

Прежде всего отметим необходимость корректного учёта необычайно высокой неопределённости многих ключевых внешних факторов, а также новых рисков и вызовов. Нельзя не принимать во внимание и влияние геополитических факторов, в первую очередь отрицательной реакции ведущих зарубежных государств на стремление России вернуть себе статус великой державы. С геополитическими факторами, обусловленными начавшимся переходом к многополярному миру, в существенной степени связаны кризисные явления в мировой экономике, высокая турбулентность глобальных сырьевых рынков, включая резкое снижение мировых цен на нефть, всё ещё представляющих один из важнейших аспектов формирования ВВП нашей страны. Остаётся риск сохранения на длительный период ограничений для России и отечественных компаний на доступ к внешним финансовым ресурсам, передовым технологиям, материалам и оборудованию. По-прежнему реальны угрозы для транзита отечественных энергоносителей через территорию ряда стран и обеспечения справедливого доступа на новые и традиционные энергетические рынки.

В этих условиях разработка энергетической стратегии с указанием плановых показателей, чётко привязанных к определённым временным интервалам, становится трудно выполнимой задачей. Тем не менее поставленная руководством страны цель — создание экономически развитого, социально ориентированного, ведущего активную внешнюю политику суверенного государства — требует определения основных принципов и критериев деятельности всех отраслей экономики, в первую очередь энергетики. Сроки достижения тех или иных показателей могут смещаться в зависимости от конкретных внутренних и внешних условий, но принципы и количественные критерии могут изменяться только в случае изменения целей и задач государства или очередной смены технологического уклада.

В периоды экономического спада, неопределённости в функционировании внешних энергетических рынков первейшей задачей становится повышение эффективности энергетического сектора внутри страны. Прежде всего это относится к электроэнергетике, практически полностью ориентированной сегодня на удовлетворение

внутренних потребностей в электрической и тепловой энергии. Именно на это была направлена стратегия развития электроэнергетики в рамках принятой в 2009 г. Энергетической стратегии—2030. Однако её основной недостаток заключался в том, что она не сопровождалась конкретной программой реализации и осталась неким сценарием возможного развития.

Ситуация в российской электроэнергетике, на первый взгляд, кажется благоприятной. Если лет 10 тому назад остро стоял вопрос о её предкризисном состоянии, то сегодня, хотя никаких существенных изменений не произошло, острота проблемы вроде бы исчезла, появились даже избыточные генерирующие мощности. Это стало результатом ввода новых мощностей по программе ДПМ (долгосрочного предоставления мощности), реализуемой на фоне резкого замедления спроса на электроэнергию, очень дорогую для потребителей. На самом деле положение в электроэнергетике не столь радужное. Основные фонды сильно изношены, разрушена система управления отраслью, в капитальном строительстве используются высокочрезвычайно затратные финансовые механизмы и т.д.

Энергетическая стратегия должна предусматривать действенную программу её реализации, нацеленную на решение ключевых проблем отрасли. Применительно к электроэнергетике она должна как минимум включать предложения по совершенствованию системы управления развитием отрасли, разработке эффективных энергетических технологий и их освоению, развитию соответствующих секторов энергетического машиностроения, электротехнической промышленности и строительного комплекса, по устойчивому и малозатратному финансовому обеспечению.

Опыт нескольких лет позволяет установить, как последствия дезинтеграционных реформ в энергетике отразились на выполнении этих важнейших разделов энергетической стратегии страны.

Важнейшим следствием реформ электроэнергетики явилась фактическая ликвидация отраслевого субъекта стратегического действия, функцию которого ранее выполняло РАО “ЕЭС России”. Теперь некому своевременно предвидеть и оперативно решать проблемы отрасли, и они накапливаются. Генерация всегда была основой любой энергосистемы. Стоимость основных фондов в генерации долгие годы составляла до 65% стоимости основных фондов электроэнергетики. Сегодня их изношенность превышает 60%, а восстановление силами разрозненных оптовых генерирующих компаний (ОГК) и территориальных генерирующих компаний (ТГК) в ближайшее время нереально.

Продажа электрической и тепловой энергии на двух несогласованно работающих рынках (электроэнергии – на оптовом конкурентном, тепловой энергии – на розничном регулируемом) и отказ от приоритета эффективности топливоиспользования в пользу ценовых заявок привели к убыточности при продаже энергии наиболее крупных и социально значимых городских ТЭЦ (суммарной электрической и тепловой мощностью около 300 ГВт). Нарушение принципа приоритета комбинированного теплоснабжения спровоцировало потребителей на масштабное строительство собственных котельных.

Проблемы отрасли стимулируют форсированное развитие распределённой генерации в промышленности. Инвестиции в неё в 2014 г. составили 40 млрд. руб., установленная мощность – около 17 ГВт (7% общей мощности). И это при том, что усилиями лоббистов большой энергетики закон о признании распределённой энергетики частью энергетической отрасли до сих пор не принят. Естественно, ни о какой координации в выборе оборудования, создании региональных сервисных центров, существенно снижающих эксплуатационные расходы, пока речи не идёт.

В этих условиях восстановление полноценной вертикальной интеграции в электроэнергетике затруднено. Заметную роль уже играют частные российские компании – ПАО «Т-Плюс» (ранее «КЭС Холдинг»), ООО «Сибирская генерирующая компания», ПАО «Квадра», иностранные генерирующие компании E.ON, ENEL и Fortum. Корпоративные процедуры по изменению целей, задач, структуры, принципов управления, требующие изменения законодательства и согласие миноритариев, чрезвычайно длительны, обратный выкуп активов государством нереален, а государственными компаниями (ООО «Газпром холдинг», ПАО «Интер РАО») в настоящее время невозможен. Необходимо иметь в виду и то, что все дезорганизационные и дезинтеграционные мероприятия, внедрённые при реформировании электроэнергетики, имеют мощные заинтересованные силы поддержки. Достаточно сказать о Новосибирской области в сбыте и ТСО (территориальные сетевые организации) в электрических сетях, чтобы понять, что получатели сотен миллиардов рублей в этом чрезвычайно заинтересованы. Реализация электроэнергии в объёме 2.5 трлн. руб. передана частным компаниям. Восстановлению управляемости в электроэнергетике будет способствовать воссоздание центров принятия решений в субъектах Российской Федерации за счёт возврата к функциональному принципу разделения электросетевых объектов. Даже объединение сетевых активов Федеральной сетевой компании и межрегиональных распределительных сетевых компаний на территории субъектов Российской Федерации в существенной

мере решает данную проблему, ведь тогда появляется реальный центр принятия решений, который можно превратить в единую электросетевую организацию.

Однако конечной целью является воссоздание центра стратегического действия, повышение энергетической безопасности, формирование условий для развития экономики страны и обеспечения управляемости электроэнергетического комплекса в кардинально изменившейся ситуации функционирования ЕЭС России и энергетических комплексов.

Сегодня ни в Правительстве РФ, ни в органах власти субъектов РФ нет структур, ответственных за сбалансированность в программах социально-экономического развития производства и потребления электроэнергии по объёмам и срокам ввода объектов электроэнергетики и электропотребления устройств потребителей. Условия диктует генерирующая компания, исходя из возможностей получения максимальной прибыли. Финансовые последствия измеряются сотнями миллиардов рублей убытка.

При разработке энергетической стратегии страны широко использовались результаты анализа мировых тенденций развития электроэнергетики. Они включают создание крупных парогазовых установок бинарного цикла на газе с КПД до 55–60% и в перспективе до 65%, паротурбинных установок на угле на суперсверхкритических параметрах пара, использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), развитие средств распределённой генерации и др. В более отдалённой перспективе рассматривалось крупномасштабное применение экологически чистых парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля (патент ОИВТ РАН 1960-х годов) и топливных элементов на природном газе и продуктах газификации угля.

Представляется целесообразным более активно отражать в стратегических документах перспективные отечественные разработки. В настоящее время Минпромторг совместно с Минэнерго России формируют программу создания отечественных высокоэффективных газовых турбин средней и большой мощности. Но создание первоклассных газовых турбин ещё не решит проблему рационального развития энергетики России. Они должны быть эффективно встроены в соответствующие технологии производства электроэнергии, прежде всего парогазовые установки (ПГУ).

В ОИВТ РАН разработаны энергетические технологии, в которых эффективность производства энергии существенно превосходит мировой уровень даже при использовании отечественных газовых турбин сегодняшнего уровня: это надстройка газотурбинных установок (ГТУ) суще-

ствующих водогрейных котлов РТС, модернизация существующих паротурбинных блоков с помощью ГТУ с частичным окислением природного газа [4], парогазовая установка с инъекцией пара для одновременного производства электроэнергии, теплоты и холода [5], а также энерготехнологические комплексы с производством электроэнергии, синтетического жидкого топлива и других ценных продуктов [6, 7]. Имеется ряд интересных предложений от других отечественных организаций.

За пять-семь лет следует завершить создание высокоэффективных отечественных парогазовых установок для ТЭЦ на базе лицензионных и новых отечественных ГТУ, в том числе разработанных ОИВТ РАН для тригенерации [5]. Практическая реализация таких энергетических установок позволит заменить старые теплофикационные установки типа Т и ПТ, увеличить производство электроэнергии при снижении расхода природного газа и уменьшении выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Целесообразность продолжения разработок в области комплексного энерготехнологического использования топлива, прежде всего угля и природного газа, объясняется их потенциальной востребованностью при исчерпании легкодоступных и дешёвых ресурсов углеводородов.

Электроэнергетика по своей природе является монопольной отраслью и с точки зрения управления её развитием не может полностью отпущаться в свободное рыночное плавание. У энергетики очень “длинные обратные отрицательные связи”, замена одного технологического узла на другой требует долгих сроков. Именно поэтому продолжают использоваться технологии, созданные в 30-х годах прошлого века, имеющие по современным меркам непозволительно большие удельные расходы топлива.

В условиях ограниченности ресурсов на инновационные цели необходимо обоснованно выбирать технологии и на их разработке сконцентрировать основные усилия. Задача состоит в корректном сопоставлении конкурирующих действующих и предложенных новых технологий во всё усложняющихся условиях их взаимодействия с электроэнергетической системой и внешней средой (социально-экономической, природной и др.). Для рационального построения энергетического хозяйства необходимо иметь систему ранжирования существующих, перспективных зарубежных и отечественных энергетических технологий по экономической эффективности, экологической безопасности и степени готовности к практической реализации при вариации внешних факторов (стоимости топлива, месторасположения, условий финансирования, экологических ограничений и т.д.). Такая система позволит выби-

рать наиболее эффективные энергетические технологии для выполнения стратегии развития электроэнергетики страны, а кроме того, контролировать капитальные затраты при строительстве новых энергетических объектов.

В СССР велась планомерная работа по нормированию удельных капитальных затрат во всех отраслях экономики. Институт “Теплоэлектропроект” разработал Нормативы удельных капитальных затрат на тепловые паротурбинные электростанции. Отсутствие подобных нормативов не позволяет сегодня ответить на вопрос, почему удельные капиталовложения на сооружение ПГУ одной и той же мощности и с одинаковым составом оборудования в США в полтора раза дешевле, чем в России. Методика такого сравнительного технико-экономического анализа в упрощённом виде с успехом использовалась ОИВТ РАН в 80-х годах прошлого века в работах, выполнявшихся в рамках советско-американской комиссии по защите окружающей среды [8]. Предложения ОИВТ РАН о разработке совместно с ИНЭИ РАН и Энергетическим институтом им. Г.М. Кржижановского аналогичной методики применительно к современным условиям передавались в соответствующие государственные структуры, но пока не получили поддержки.

Создание перспективных энергетических технологий требует постоянной координации деятельности смежных секторов экономики, организации межотраслевых НИОКР и разработки типовых проектов энергетических объектов, унификации типоразмерного ряда энергетического оборудования, восстановления производственного потенциала и кадрового состава в отраслях энергетики, обеспечивающего возможность своевременно проводить масштабные работы по развитию и модернизации отрасли, восстановительные работы в случае крупных техногенных аварий. Не менее важно создание экономических и организационных предпосылок перехода к ритмичной загрузке отечественных производственного, проектного и строительно-монтажного комплексов, обеспечивающих замену устаревшего оборудования и строительство новых энергетических мощностей.

Сложившиеся в электроэнергетике методы и схемы управления её развитием в отрыве от корректных прогнозов электро- и теплотребления изжили себя. В настоящее время более 70% новых электросетевых объектов имеют загрузку, далёкую от 100%. При этом вывод устаревших мощностей длительное время не производится из-за слабых системных связей, отсутствия источников теплоснабжения потребителей, противодействия системного оператора и др. Немалую роль играет и желание субъектов электроэнергетического бизнеса обеспечивать максимальную прибыль, эксплуатируя полученные за бесценок объекты

до полной выработки ресурса. По этим же причинам не используются принятые в международной практике схемы финансирования, такие как:

- амортизационные отчисления при регулярном сокращении сроков обновления основных фондов в электроэнергетике до устранения отставания в научно-техническом развитии; данная система финансирования более полувек является основной в экономике США, составляя до 70% инвестиций в фондоёмких отраслях;

- проектное финансирование, при котором возврат средств инвестора обеспечивается не гарантиями энергокомпаний, а экспертно подтверждённой эффективностью нового энергетического объекта после включения его в эксплуатацию; на обеспечение финансирования данного механизма в разных странах приходится до 10% инвестиций;

- внедрение метода IPP (строю, владею, эксплуатирую), который основан на гарантиях покупателя (региональная энергокомпания, потребитель) по объёму и цене покупаемой электроэнергии на весь период окупаемости; по данному методу в мире реализовано до 100 ГВт новых инвестиционных проектов;

- многолетнее льготное кредитование государственными и международными банками развития на срок 25–30 лет; в разных странах профинансировано от 10 до 20% инвестиционных проектов.

Определённая активность с инвестициями наблюдалась в начале 2000-х годов за счёт дополнительной эмиссии акций, отголоски её сохранились до сих пор. Но это было перераспределением прав собственности, а не нормальным инвестированием. Например, выплатив за дополнительную эмиссию акций на создание двух ПГУ мощностью 800 МВт, новый акционер получал контрольный пакет акций энергетической компании мощностью 12 млн. кВт. Дальнейшая модернизация не представляет интереса для новых и старых собственников ОГК и ТГК, которые получают максимальную прибыль от эксплуатации.

Ниже представлены предложения, обеспечивающие эффективную реализацию энергетической стратегии страны.

- Образование *государственной структуры*, организующей разработку и внедрение инновационных технологий и обладающей необходимыми правовыми и финансовыми возможностями. Это может быть специализированный департамент в Минэнерго России. Подобное решение требует политической воли и финансовых вложений.

В существующих условиях управление созданием и реализацией инноваций, а тем более импортозамещением возможно только при участии государственных структур. Отметим, что реструк-

туризация ОАО РАО “ЕЭС России” преследовала цель ухода государства из сферы производства энергии и передачи её в частные руки. За время стратегической трансформации экономики и энергетики исчез Госплан, Минэнерго России превратилось в структуру, у которой фактически и юридически исчезли возможности разработки и реализации инноваций в связи с ликвидацией подразделений, резкого сокращения финансовых возможностей и правового отделения от сферы производственной деятельности.

- Образование *централизованного государственного инвестиционного фонда* для финансирования работ по инновационному развитию российской электроэнергетики, формируемого за счёт инвестиционной составляющей тарифа на электроэнергию, то есть инвестирование развития за счёт потребителей энергии [4]. Контроль расходования средств фонда необходимо возложить на потребителей, что сделает его наиболее действенным. Величина инвестиционной составляющей в тарифе должна быть определена путём выполнения соответствующих оптимизационных расчётов (по нашим оценкам, она может составить около 0.5 цента США за 1 кВт · ч).

Такое финансирование развития энергетики является оптимальным. Во-первых, потребитель заинтересован в низкой стоимости электроэнергии и будет по праву следить за рациональным расходованием средств. Во-вторых, это беспроцентное кредитование, “финансист”-потребитель не требует ускоренного возврата вложенных средств. В-третьих, инвестиционная составляющая сегодня имеется практически у всех производителей энергии. Но поскольку она недостаточна для автономного развития каждого независимого производителя, то обычно “проедается”, то есть пускается в прибыль или тратится на латание “дыр” при эксплуатации физически устаревшего оборудования.

В связи с тем, что государство берёт на себя инвестирование в развитие энергетики, инвестиционная составляющая тарифа как юридически, так и по справедливости может быть изъята у производителей энергии. В результате суммарный тариф для потребителя может либо остаться на прежнем уровне, либо вырасти незначительно, тем более что потребитель, выплатив за счёт инвестиционной составляющей капитальные затраты, эквивалентные созданию собственного источника энергии, должен получить акции и стать совладельцем электростанции.

Указанное предложение выдвигалось авторами неоднократно [4, 9] и признавалось эффективным, но высказывались опасения, что образованный фонд будет разворован. Между тем разработать прозрачную и эффективную систему

контроля поступления и расходования средств фонда не представляет особого труда.

- Создание *системы передачи* возведённых за счёт инвестиционного фонда инновационных энергетических установок собственникам электростанций.

Практика последних лет показывает, что реализация инноваций на действующих электростанциях чрезвычайно затруднена. Инвестирование за счёт централизованного инвестиционного фонда позволяет передавать новую перспективную установку на действующую электростанцию с правом получения соответствующей доли акций. Такая процедура (государственно-частное партнёрство) выгодна как государству, так и частному владельцу электростанции. Государство получает дивиденды, возвращаемые в инвестиционный фонд, а собственник электростанции — новую технологию, сокращающую эксплуатационные затраты и, следовательно, обеспечивающую рост доходности имеющихся акций. В результате государство постепенно, заменяя отработавшие ресурс энергетические установки, получает контрольный пакет акций, позволяющий реализовать наиболее эффективную энергетическую политику.

- Разработка *иерархической системы эффективности, экологической безопасности и степени готовности к практической реализации* альтернативных существующих и предлагаемых инновационных энергетических технологий с учётом большой неопределённости внешних условий и высоких рисков различной природы. Наличие такой системы позволяет выбирать оптимальные варианты технологического насыщения на различных этапах реализации энергетической стратегии и служить эталоном для контроля стоимости сооружаемых объектов.

Нужны разработка методов прогнозирования технико-экономических показателей перспективных энергетических технологий, а также создание базы данных по конкурирующим технологиям (как действующим, так и новым) с адекватным отражением прогнозной динамики их технико-экономических, экологических и других показателей.

- Для обеспечения нормального экономического роста *необходим закон*, обязывающий энер-

гетические компании обеспечивать электроэнергией всех потребителей обслуживаемого региона без ограничения. Такой закон есть в США.

- Подготовка *предложений по механизмам*, обеспечивающим обязательное выполнение основных положений энергетической стратегии всеми субъектами энергетической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенюк А.Ю., Проскуракова Л.Н., Соколов А.В. и др. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Энергоэффективность и энергосбережение / Под ред. Л.М. Гохберга, С.П. Филиппова. М.: НИУ ВШЭ, 2014.
2. Зейгарник Ю.А., Масленников В.М., Нечаев В.И., Шевченко И.С. О целевом видении стратегии развития электроэнергетики России до 2030 г. / Под ред. акад. А.Е. Шейндлина. М.: ОИВТ РАН, 2007.
3. Фаворский О.Н., Батенин В.М., Масленников В.М. С чего следовало бы начать реализацию энергетической стратегии России // Вестник РАН. 2015. № 2. С. 99–106.
4. Масленников В.М., Батенин В.М., Штеренберг В.Я. и др. Модернизация существующих паротурбинных установок путём газотурбинных надстроек с частичным окислением природного газа // Теплоэнергетика. 2000. № 3. С. 14–24.
5. Батенин В.М., Масленников В.М., Выскубенко Ю.А., Штеренберг В.Я. Парогазовая установка для комбинированной выработки электроэнергии, тепла и холода (тригенерация) // Теплофизика высоких температур. 2014. № 6. С. 10–20.
6. Батенин В.М., Масленников В.М., Толчинский Л.С. Энерготехнологические комплексы — перспективный путь освоения топливных ресурсов // Новости теплоснабжения. 2014. № 4. С. 26–31.
7. Батенин В.М., Масленников В.М., Выскубенко Ю.А. Комплексное энерготехнологическое использование угля // Известия РАН. Энергетика. 2011. № 5. С. 15–21.
8. Масленников В.М., Выскубенко Ю.А., Штеренберг В.Я. (СССР), Смитсон Г.Р., Робсон Ф.Л., Лохон В.Т. (США). Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией топлива и экологические проблемы энергетики. М.: Наука, 1983.
9. Энергетика России: взгляд в будущее (обосновывающие материалы к Энергетической стратегии России на период до 2030 г.). М.: Энергия, 2010.