



Министерство образования и науки  
Российской Федерации



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Институт статистических исследований  
и экономики знаний

# Прогноз научно-технологического развития России: 2030



## Энергоэффективность и энергосбережение



[prognoz2030.hse.ru](http://prognoz2030.hse.ru)



Министерство образования и науки  
Российской Федерации

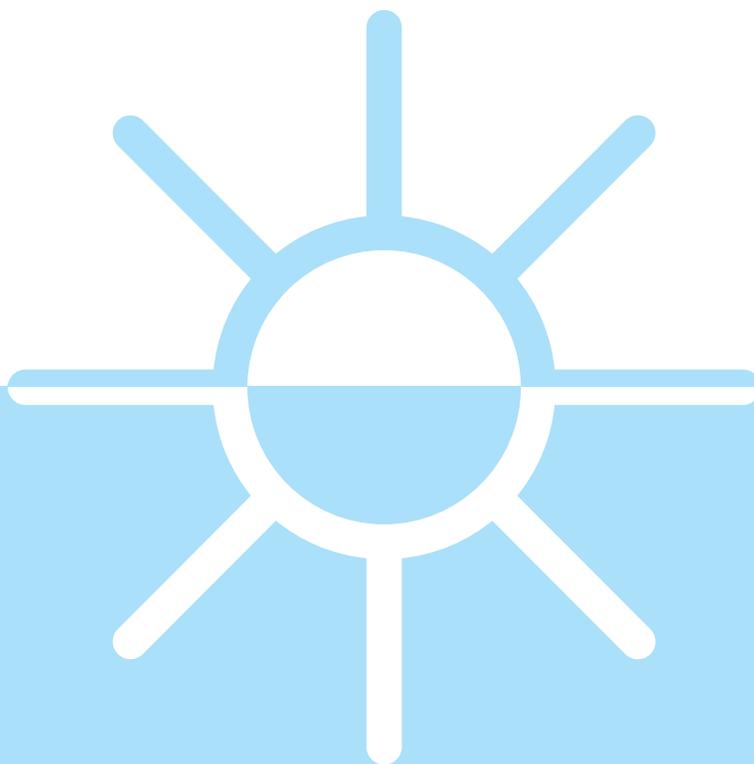


ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Институт статистических исследований  
и экономики знаний

# Прогноз научно-технологического развития России: **2030**



## Энергоэффективность и энергосбережение

Москва 2014

УДК 65.304.13  
ББК 65.2/4-5  
П78

**Авторы:**

А.Ю. Гребенюк, Л.Н. Проскуракова, А.В. Соколов, С.П. Филиппов, А.А.Чулук

*Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность за значительный вклад в экспертизу представленных в докладе материалов:*

М.А. Беловой, Э.П. Волкову, А.В. Клименко, А.А. Макарову, Т.А. Митровой, А.Н. Петровскому, Н.Н. Пономареву-Степному, А.В. Путилову, В.Е. Фортovu.

**Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Энергоэффективность и энергосбережение** / под. ред. Л.М. Гохберга, С.П. Филиппова. – Москва : Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 52 с. ISBN 978-5-906737-07-6

Работа выполнена Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации.

Цель долгосрочного Прогноза научно-технологического развития на период до 2030 года – определение наиболее перспективных для России областей развития науки и технологий, обеспечивающих реализацию конкурентных преимуществ страны. Итоговые рекомендации прошли широкое обсуждение с привлечением значительного числа российских и зарубежных экспертов, которые принимали участие в определении и оценке глобальных вызовов и окон возможностей, инновационных рынков, радикальных продуктов и технологий, выборе приоритетных областей научных исследований и их верификации.

В рамках разработки прогноза сформирована сеть отраслевых центров научно-технологического прогнозирования, включающая ведущие научные организации, вузы и инновационные компании из 40 регионов России.

Выполненная работа была сфокусирована на семи приоритетных направлениях развития науки и технологий. В данной публикации представлены материалы по приоритетному направлению «Энергоэффективность и энергосбережение».

В докладе использованы материалы следующих организаций:

- Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;
- Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;
- Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;
- отраслевого центра научно-технологического прогнозирования на базе Национального исследовательского ядерного университета;
- технологических платформ («Глубокая переработка углеводородных ресурсов» и др.).

Приведенные в докладе материалы представляют практический интерес для органов государственного управления, компаний, научных организаций, вузов, технологических платформ, инновационных территориальных кластеров и других заинтересованных организаций.

*Издание подготовлено при поддержке Программы «Фонд развития прикладных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».*

УДК 65.304.13  
ББК 65.2/4-5

ISBN 978-5-906737-07-6

© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014  
При перепечатке ссылка обязательна

## Содержание

Аббревиатуры.....	4
Введение .....	5
Методические комментарии.....	12
<b>1. Вызовы и окна возможностей.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Перспективные рынки, продукты и услуги .....</b>	<b>17</b>
<b>3. Перспективные направления научных исследований.....</b>	<b>25</b>
3.1. Эффективная разведка и добыча ископаемых топлив .....	26
3.2. Эффективная и экологически чистая теплоэнергетика.....	28
3.3. Безопасная атомная энергетика .....	30
3.4. Эффективное использование возобновляемых видов энергии.....	32
3.5. Перспективная биоэнергетика .....	33
3.6. Глубокая переработка органических топлив.....	34
3.7. Эффективное аккумулирование электрической и тепловой энергии .....	36
3.8. Водородная энергетика.....	36
3.9. Эффективная транспортировка топлива и энергии .....	37
3.10. Интеллектуальные энергетические системы будущего .....	38
3.11. Эффективное потребление энергии .....	40
3.12. Моделирование перспективных энергетических технологий и систем.....	41
3.13. Разработка прогрессивной электронной компонентной базы для энергетики .....	43
3.14. Новые материалы и катализаторы для энергетики будущего .....	43
Список литературы .....	46

## Аббревиатуры

АЭС	Атомная электростанция
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система
ЕС	Европейский союз
ИиР	Исследования и разработки
НИУ ВШЭ	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
ОПЕК	Организация стран – экспортеров нефти (Organization of the Petroleum Exporting Countries – OPEC)
ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
ПНТР	Прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 г.
ЮНИДО	Организация Объединенных Наций по промышленному развитию (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO)
API	от American Petroleum Institute – Единица измерения плотности нефти, разработанная Американским институтом нефти
GPS	Global positioning system – Система глобального позиционирования
MOX-топливо	Mixed-Oxide fuel – Смешанное оксидное топливо

*«Сейчас завершается разработка долгосрочного прогноза научно-технологического развития России до 2030 года. Выделены конкретные направления как для подъема традиционных секторов, так и для прорыва на рынке высоких технологий...»*

В.В. Путин

Послание Президента Российской Федерации  
Федеральному Собранию Российской Федерации,  
12 декабря 2012 г.

.....  
*«Прогноз должен послужить основой для разработки стратегий и инновационных программ крупнейших российских компаний. ... Прогноз носит не только индикативный характер... – это прогноз, на основе которого готовятся планы».*

Д.А. Медведев

Совещание с вице-премьерами,  
20 января 2014 г.

## Введение

**В** январе 2014 г. Председателем Правительства Российской Федерации был утвержден долгосрочный Прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 г. (ПНТР)<sup>1</sup>. Доклад, содержащий его детальные результаты, был согласован с заинтересованными министерствами и ведомствами (Минкомсвязи России, Минздравом России, Минтрансом России, Минфином России, Минэкономразвития России, Минпромторгом России, Минприроды России, Минэнерго России, Роскосмосом), Российской академией наук и одобрен на заседании Межведомственной комиссии по технологическому прогнозированию президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России<sup>2</sup> 17 декабря 2013 г. Значение ПНТР для определения стратегических перспектив социально-экономического и научно-технологического развития страны отмечено в послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию 12 декабря 2012 г. [Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию, 2012], а также Председателем Правительства Российской Федерации на совещании с вице-премьерами 20 января 2014 г. [Совещание с вице-премьерами, 2014].

В настоящем докладе представлены подробные результаты ПНТР по приоритетному направлению «Энергоэффективность и энергосбережение».

Разработка ПНТР осуществлялась на фоне серьезных изменений, происходящих в последние годы в отечественной экономике (в частности, в сфере науки и инноваций), и связанных с этим преобразований научно-технической и инновационной политики, расширения круга ее субъектов и спектра используемых инструментов.

<sup>1</sup> Резолюция № ДМ-П8-5 от 3 января 2014 г.

<sup>2</sup> Создана решением президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации и инновационному развитию России от 28 июня 2013 г. (протокол № 1) во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» (абзац 2 подпункта «д» пункта 2).



Одна из первоочередных задач, стоящих перед Россией, – поиск новых источников экономического роста, который невозможен без масштабной модернизации традиционных секторов экономики на базе современных технологий, а также создания новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся высокотехнологические рынки. Перевод российской экономики на инновационные рельсы предполагает опережающую динамику высокотехнологичных отраслей промышленности и сферы услуг и радикальное повышение их конкурентоспособности, что требует дальнейшего совершенствования научно-технической и инновационной политики, повышения качества ее информационного и методического обеспечения, усиления доказательной базы<sup>3</sup>.

Указанный комплекс задач предопределил *основную цель разработки ПНТР – выявление наиболее перспективных для России областей развития науки и технологий, обеспечивающих реализацию конкурентных преимуществ страны*. Для ее достижения в течение последних лет осуществляется системная работа, связанная с проведением комплекса Форсайт-исследований.

Первым крупным проектом национального уровня стал долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2025 г., инициированный в 2007 г. Минобрнауки России. Он охватывал три крупных блока: макроэкономический прогноз российской экономики; прогноз сферы науки и технологий по приоритетным направлениям и отраслевой прогноз, содержащий варианты технологического развития ключевых секторов экономики. Центральным элементом проекта стало проведение масштабного опроса экспертов с использованием метода Дельфи. На его основе были выделены более 800 технологий в 10 перспективных направлениях научно-технологического развития, а затем осуществлен опрос 100 крупнейших компаний с целью анализа текущего и перспективного спроса на эти технологии.

На следующем этапе научно-технологического прогнозирования (2009–2010 гг.) был обобщен опыт зарубежных и международных прогнозов в социально-экономической и научно-технологической сферах, на базе которого выполнены оценки будущего глобальной экономики и отдельных крупных мировых рынков с учетом ожидаемых последствий финансово-экономического кризиса. Полученные результаты легли в основу макроэкономического прогноза российской экономики, а также вариантного прогноза технологического развития ряда секторов. Были определены группы перспективных технологий и продуктов, отвечающие приоритетам технологической модернизации страны.

В 2013 г. завершилась работа по формированию ПНТР, в рамках которой были получены следующие основные результаты:

- выделены тренды, оказывающие максимальное влияние на сферу науки и технологий, и порождаемые ими вызовы долгосрочного развития экономики, науки и общества в глобальном и национальном контекстах;
- для семи приоритетных направлений развития науки и технологий («Информационно-коммуникационные технологии»; «Биотехнологии»; «Медицина и здравоохранение»; «Новые материалы и нанотехнологии»; «Рациональное природопользование»; «Транспортные и космические системы»; «Энергоэффективность и энергосбережение»):
  - на основе выявленных трендов определены угрозы и окна возможностей для России;
  - идентифицированы перспективные рынки, продуктовые группы и потенциальные области спроса на российские инновационные технологии и разработки;
  - составлено детальное описание приоритетных тематических областей развития науки и технологий и сформулированы более 1000 первоочередных задач науч-

<sup>3</sup> Данная проблематика находилась в центре внимания Экспертной группы № 5 «Переход от стимулирования инноваций к росту на их основе», созданной в соответствии с поручением Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Путина № ВП – П13-209 от 19 января 2011 г. для подготовки рекомендаций по актуальным проблемам стратегии социально-экономического развития страны на период до 2020 г.

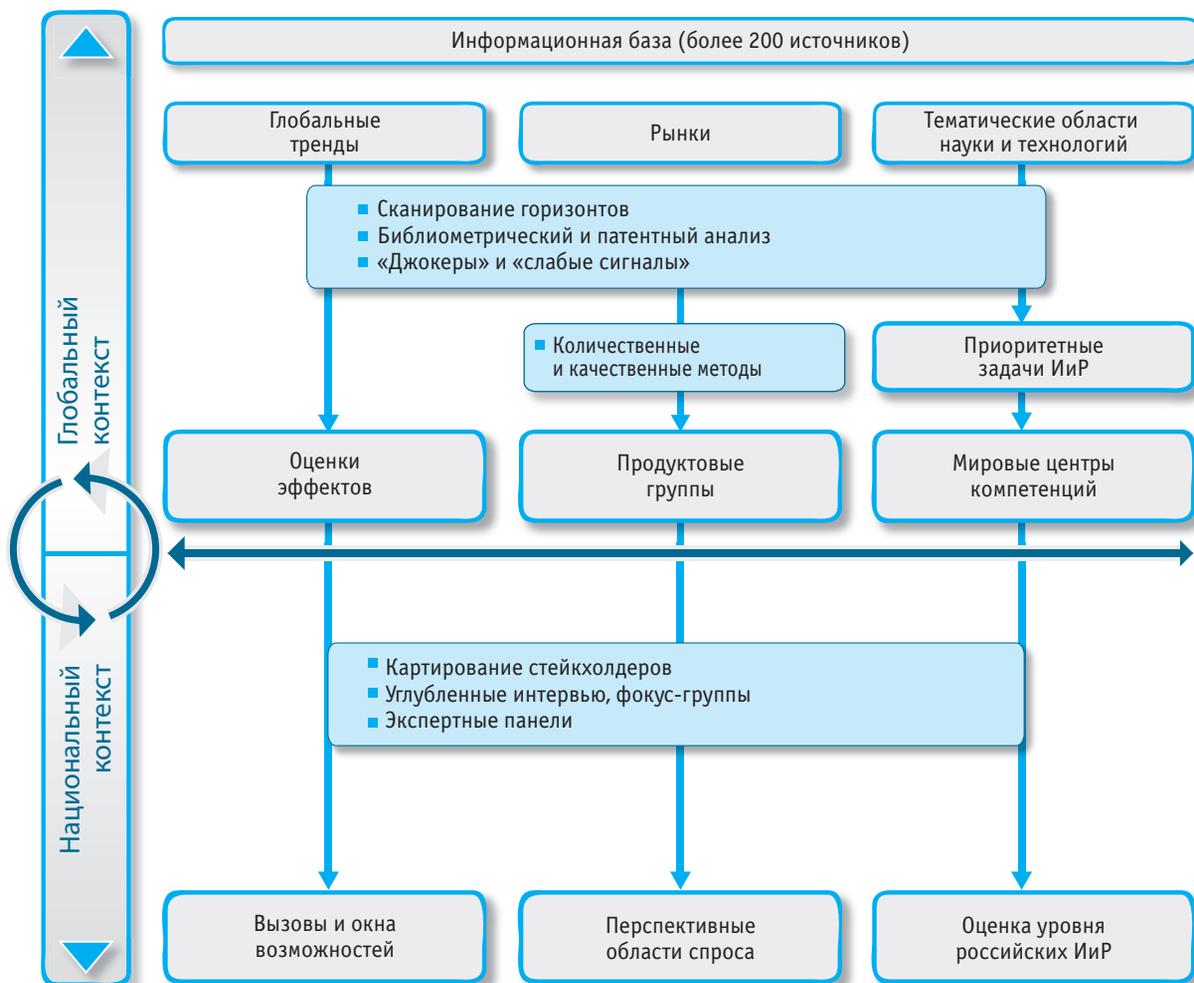


- ных исследований и разработок, реализация которых необходима для появления выделенных групп инновационных продуктов и услуг;
- дана оценка состояния отечественных исследований в этих областях: выявлены «белые пятна», а также зоны паритета и лидерства, которые могут стать основой для интеграции в международные альянсы, позиционирования нашей страны как центра глобального технологического развития;
- подготовлены рекомендации, направленные на активизацию использования результатов ПНТР в практике научно-технической и инновационной политики, в том числе при формировании, корректировке и реализации государственных программ Российской Федерации, включая федеральные целевые программы научно-технологической направленности.

### Организация и методология выполнения работ

Настоящее исследование отличается от предшествующих работ по долгосрочному прогнозированию более сложной структурой, а также глубиной проработки общей концепции. Схема организации разработки ПНТР представлена на рис. 1.

**Рис. 1. Организация разработки долгосрочного Прогноза научно-технологического развития России на период до 2030 года**



Источник: НИУ ВШЭ.



При формировании ПНТР был применен широкий спектр современных инструментов Форсайта, которые, с одной стороны, в наибольшей степени адаптированы к российской специфике, с другой – подтвердили свою эффективность в международной практике. В ходе разработки прогноза была реализована интеграция нормативного («market pull») и исследовательского («technology push») подходов к прогнозированию. Нормативный подход носил проблемно-ориентированный (рыночный) характер: для выбранных научно-технологических направлений сначала определялись ключевые вызовы и окна возможностей, затем – соответствующие решения в терминах «пакетов технологий» либо иных ответов. Исследовательский подход был нацелен на идентификацию перспективных продуктов и прорывных технологий, способных коренным образом изменить существующие экономическую, социальную и производственную парадигмы. Рекомендации ПНТР формировались одновременно с трех позиций: науки, бизнеса и органов управления, – что позволило в рамках диалога с различными группами бенефициаров не только выявить перспективные области исследований и разработок, но и понять, кто и каким образом сможет воспользоваться результатами их развития.

В качестве инструментов прогнозирования использовались как уже ставшие традиционными методы (выбор приоритетов, построение образов будущего, дорожные карты, анализ глобальных вызовов), так и достаточно новые подходы (сканирование горизонтов, «слабые сигналы» (weak signals), «джокеры» (wild cards)<sup>4</sup> и др.).

Данные, полученные в ходе экспертного опроса и глубинных интервью, были уточнены в соответствии с материалами организаций – участников сети отраслевых центров прогнозирования научно-технологического развития на базе ведущих российских вузов по шести приоритетным направлениям.

## Источники информации для подготовки прогноза

В основу исследования были положены более 200 материалов, среди которых:

- аналитические исследования и прогнозы международных организаций (ОЭСР, Европейской комиссии, ООН, ЮНИДО, Всемирного банка, Международного энергетического агентства и др.);
- национальные прогнозы науки и технологий (Великобритании, Германии, Франции, США, Японии, Республики Корея, Китая, Бразилии, ЮАР, Финляндии, Нидерландов, Тайваня и др.);
- прогнозы крупных корпораций (Shell, BP и др.), а также ряда международных профессиональных ассоциаций;
- материалы ведущих зарубежных Форсайт-центров (RAND Corporation, Института перспективных технологических исследований ЕС, Университета Манчестера, Национального института научно-технической политики Японии, Бизнес-школы Телфера Университета Оттавы, Корейского института оценивания и планирования науки и технологий, Технологического университета Джорджии, Института политики и менеджмента Китайской академии наук, Австрийского института технологий и др.);
- российские прогнозы в сфере науки и технологий, в том числе реализованные по заказам Минобрнауки России;
- документы стратегического характера, отражающие долгосрочные перспективы развития российской экономики и ее отдельных секторов (Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года,

<sup>4</sup> События, характеризующиеся низкой вероятностью наступления, но высоким потенциальным эффектом воздействия (возможно, негативным), способные привести к неожиданной траектории развития будущего.



Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, стратегии развития отраслей, программы инновационного развития компаний и др.);

- базы данных патентных служб (Роспатента, патентного ведомства США – USPTO, Европейского патентного ведомства – EPO, Всемирной организации интеллектуальной собственности – WIPO и др.);
- базы данных международных журналов (ISI Web of Knowledge компании Thomson Reuters, Scopus компании Elsevier, Российский индекс научного цитирования и др.).

## Инфраструктура прогноза

В ходе реализации ПНТР на базе созданных в ведущих вузах отраслевых центров научно-технического прогнозирования была сформирована экспертная сеть, охватывающая более 200 организаций (научных центров, вузов, компаний реального сектора и др.) и свыше 2000 экспертов, выбор которых проводился на базе специально разработанных процедур и критериев. К экспертам предъявлялись жесткие квалификационные требования: наличие публикаций с высоким индексом цитирования, патентов, участие в крупных научных мероприятиях, известность в профессиональной среде и т.п. В качестве экспертов-практиков к разработке прогноза были привлечены представители инновационных компаний, инжиниринговых центров, маркетинговых организаций, организаций – потребителей и поставщиков (распространителей) инновационной продукции и др. Таким образом были сформированы рабочие группы экспертов высшего уровня по важнейшим направлениям развития науки и технологий (более 120 ведущих российских и зарубежных ученых) и расширенные рабочие группы, включающие представителей науки, государства, бизнеса, экспертного сообщества, общей численностью свыше 800 человек.

Среди иностранных специалистов, принимавших участие в подготовке прогноза, – представители международных организаций, крупных университетов и исследовательских центров, а также руководители научных лабораторий, организованных в рамках реализации грантов Правительства Российской Федерации, выделяемых на конкурсной основе для государственной поддержки научных исследований, проводимых в российских вузах и НИИ. Кроме того, была сформирована специальная группа зарубежных экспертов, задачами которой стали обсуждение методологии проводимых исследований и валидация полученных результатов. В ее состав вошли более 100 специалистов из ОЭСР, ЮНИДО, крупнейших мировых Форсайт-центров (из Великобритании, США, Канады, Японии, Республики Корея, Германии, Франции и др.).

## Обсуждение и валидация результатов прогноза

Результаты прогноза обсуждались на международных и российских форумах с участием ведущих мировых ученых и специалистов, в числе которых:

- Future-oriented Technology Analysis (май 2011 г., Севилья);
- Foresight and Science, Technology and Innovation Policies: Best Practices (Форсайт и научно-техническая и инновационная политика: лучший опыт), (октябрь 2011 г., Москва);
- International Research Conference on Foresight and Futures (август 2011 г., Стамбул);
- Knowledge Intensive Service Businesses (октябрь 2011 г., Карлсруэ);
- XIII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (апрель 2012 г., Москва);
- Innovative Methods for Innovation Management (май 2012 г., Пекин);



- R&D Management Conference (май 2012 г., Гренобль);
- Bromley Memorial Lecture and Event on Science Technology Innovation Policy (май 2012 г., Оттава);
- 2012 STEPI International Symposium (май 2012 г., Сеул);
- OECD Innovation Policy Platform (июнь 2012 г., Париж);
- Foresight for Innovative Responses to Grand Challenges (Форсайт: инновационные ответы на глобальные вызовы), (октябрь 2012 г., Москва);
- XIV Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (апрель 2013 г., Москва);
- Creating Markets from Research Results (май 2013 г., Мюнхен);
- R&D Management (июнь 2013 г., Манчестер);
- Global Research and Social Innovation: Transforming Futures (21-я конференция Всемирной федерации исследований будущего), (июнь 2013 г., Бухарест);
- ISPIM 2013: Innovating in Global Markets: Challenges for Sustainable Growth (июнь 2013 г., Хельсинки);
- Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России: направления практического использования результатов (сентябрь 2013 г., Москва);
- Форсайт и научно-техническая и инновационная политика (октябрь 2013 г., Москва);
- Оценка эффектов форсайт-исследований в России и Европейском Союзе (январь 2014 г., Москва) и др.

## Использование результатов прогноза

ПНТР является важной составляющей системы технологического прогнозирования, ориентированной на обеспечение перспективных потребностей обрабатывающего сектора экономики, с учетом развития ключевых производственных технологий, созданной согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» (абзац 2 подпункта «д» пункта 2). На состоявшемся 4 октября 2013 г. заседании Межведомственной комиссии, посвященном результатам ПНТР, был утвержден План мероприятий по обеспечению использования результатов долгосрочного Прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года при корректировке документов государственных программ Российской Федерации научно-технологической направленности, а также приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации. Данный план предполагает проведение серии организационно-методических, экспертно-аналитических и информационных мероприятий.

Отдельные результаты ПНТР были использованы при:

- разработке Прогноза долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года<sup>5</sup>;
- подготовке государственной программы «Развитие науки и технологий» на период до 2020 года<sup>6</sup>;
- корректировке прогнозных параметров «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» до 2035 года и формировании целевого видения развития российской энергетики на период до 2050 года;
- подготовке проекта доклада Президенту Российской Федерации по вопросу формирования перечня приоритетных научных задач, решение которых требует использо-

<sup>5</sup> Утвержден Правительством Российской Федерации 25 марта 2013 г.

<sup>6</sup> Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2012 г. № 2433-р.



вания возможностей федеральных центров коллективного пользования научным оборудованием<sup>7</sup>;

- проведении отраслевых Форсайтов и разработке соответствующих дорожных карт (развития космической навигации, авиационной науки и технологий, судостроения, нефтехимии, биотехнологий и генной инженерии, производства композиционных материалов и др.);
- формировании программ развития инновационных территориальных кластеров, стратегических программ исследований технологических платформ, программ инновационного развития ряда российских компаний.

Результаты ПНТР могут быть использованы:

- заинтересованными федеральными органами исполнительной власти – при формировании, корректировке и реализации государственных программ Российской Федерации; федеральных целевых программ научно-технологической направленности, включая планы и детальные планы-графики их реализации; приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации; перечня критических технологий Российской Федерации; отраслевых документов государственного стратегического планирования, включая отраслевые критические технологии;
- государственными корпорациями научно-технологического профиля, имеющими длительный горизонт планирования (ОАО «ОАК», «Ростех», «Росатом» и др.), – для формирования программ инновационного развития; институтами Российской академии наук – для формирования планов исследований;
- научным сообществом – для определения востребованных направлений научных исследований, а также продвижения имеющихся научно-технологических решений через создаваемые в рамках долгосрочного прогноза коммуникационные площадки;
- бизнес-сообществом – для формирования стратегий развития предприятий и инвестиционных проектов, связанных с технологической модернизацией;
- технологическими платформами – при формировании, корректировке и реализации стратегических программ исследований;
- институтами развития, ориентированными на поддержку инноваций (Банк развития и внешнеэкономической деятельности, ОАО «Российская венчурная компания», ОАО «РОСНАНО»), – для формирования долгосрочных планов;
- инновационными территориальными кластерами – при формировании, корректировке и реализации стратегий средне- и долгосрочного развития.

Согласно проекту федерального закона «О государственном стратегическом планировании» прогноз должен разрабатываться на регулярной основе во взаимосвязке с другими документами государственного стратегического планирования и с целью формирования системы научно обоснованных представлений о направлениях и ожидаемых результатах научно-технологического развития страны.

\* \* \*

В настоящем издании, посвященном приоритетному направлению развития науки и технологий «Энергоэффективность и энергосбережение», приводится детальная информация о глобальных трендах, вызовах и окнах возможностей в рассматриваемой сфере, возникающих угрозах и степени их влияния на Россию. Представлен анализ важнейших перспективных рыночных ниш, продуктов и услуг, способных оказать радикальное влияние на динамику мировых и внутренних рынков, с указанием их потребительских свойств. Рассмотрены перспективные области научных исследований, приведена сравнительная оценка их уровня в России и странах-лидерах.

<sup>7</sup> Письмо Минобрнауки России № МОН-П-119 от 17 января 2014 г.

## Методические комментарии

Для выбора приоритетов прикладной науки, направленных на создание научно-технологических заделов, применялся ряд критериев. К приоритетным были отнесены исследования, которые:

- могут привести к появлению в долгосрочной перспективе новых рынков или рыночных ниш, продуктов с новыми свойствами, инновационных услуг;
- носят междисциплинарный, межотраслевой характер;
- позволят ответить на вызовы, стоящие перед приоритетным направлением;
- способствуют формированию технологической платформы будущей экономики и общества;
- способны решить ключевые научные проблемы в рассматриваемом направлении, создать задел на будущее.

Для каждой тематической области была дана оценка уровня российских исследований по следующей шкале:



«белые пятна» – существенное отставание от мирового уровня, отсутствие (или утрата) научных школ;



«заделы» – наличие базовых знаний, компетенций, инфраструктуры, которые могут быть использованы для форсированного развития соответствующих направлений исследований;



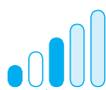
«возможность альянсов» – наличие отдельных конкурентоспособных коллективов, осуществляющих исследования на высоком уровне и способных на равных сотрудничать с мировыми лидерами;



«паритет» – уровень российских исследований не уступает мировому;



«лидерство» – российские исследователи являются лидерами на мировом уровне;



оценки экспертов находятся в диапазоне между несколькими значениями.



# ВЫЗОВЫ И ОКНА ВОЗМОЖНОСТЕЙ

---

**С**остояние энергетической отрасли в значительной степени определяет конкурентоспособность экономики, уровень развития общества и качество окружающей среды. В России необходимость обеспечения долгосрочного устойчивого и эффективного развития энергетики обусловлена ее ведущей ролью в экспорте и наполнении доходной части бюджета. Отрасль характеризуется высокой инерционностью, длительным инвестиционным циклом, крупными финансовыми и временными затратами на разработку новых технологий, междисциплинарным характером научных исследований. К тому же здесь практически всегда существуют несколько возможных направлений научно-технологического развития, и неверный либо неоптимальный выбор чреват крупными экономическими потерями и усилением отставания от передовых стран.

Важными условиями формирования постиндустриальной энергетики являются опережающий рост секторов и производств, отличающихся низкой энергоемкостью; использование широкого спектра источников энергии; локализация производства и его приближение к потребителю; внедрение крупномасштабных проектов повышения энергоэффективности; распространение интеллектуальных энергетических сетей и энергоинформационных систем.

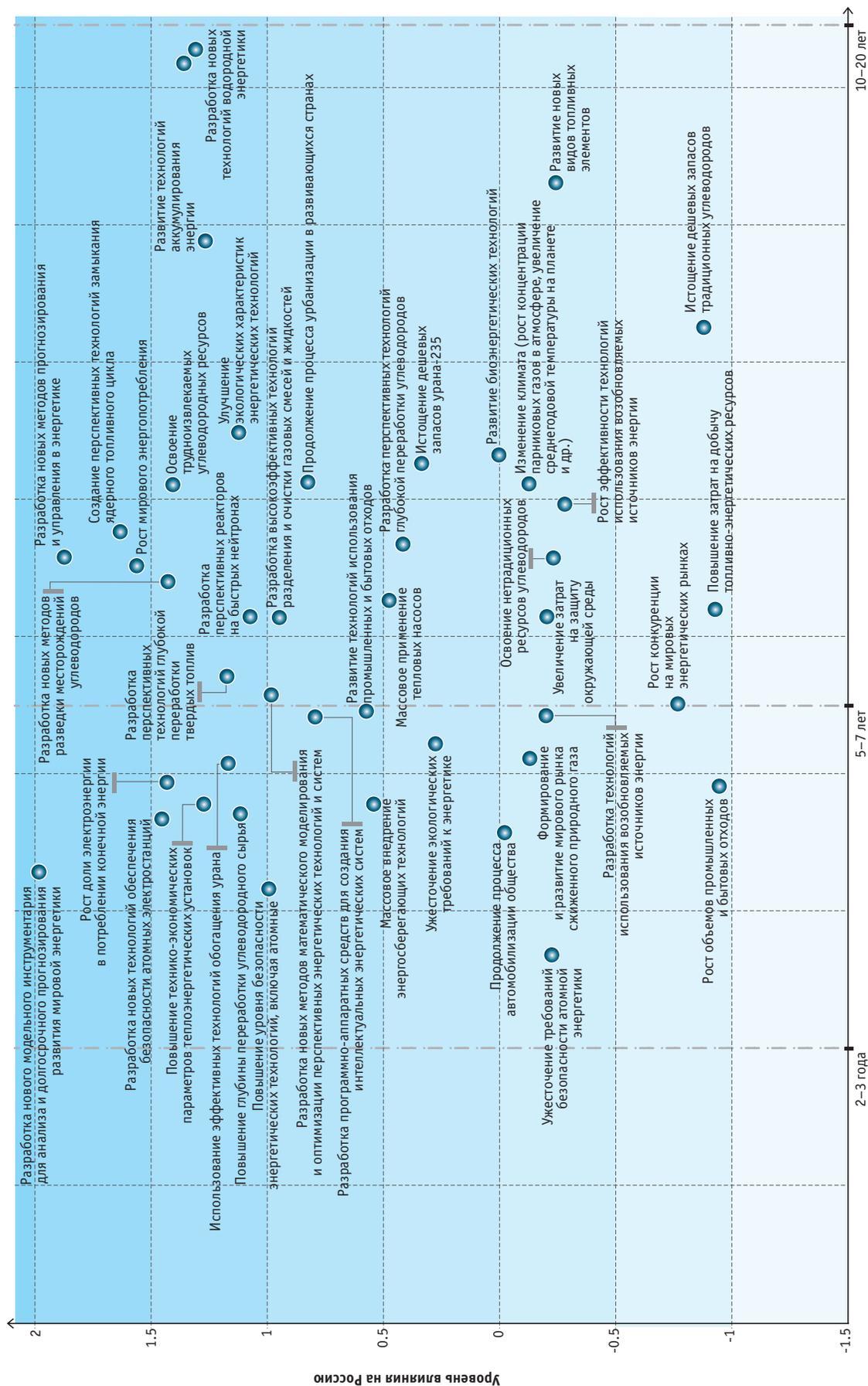
На рис. 2 представлены вызовы и окна возможностей, формирующие будущий облик приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение» под влиянием долгосрочных трендов глобального развития.

*Истощение запасов традиционных углеводородов* в стране связано с тем, что значительная часть разведанных за последние 20 лет мировых нефтяных резервов находится в труднодоступных местах; это определяет высокую ресурсо- и энергоемкость их освоения и создания соответствующей инфраструктуры. Через 40–50 лет мир столкнется с *исчерпанием мировых запасов изотопа урана-235* (с учетом низкой рентабельности добычи на некоторых крупных месторождениях возможный срок их исчерпания составляет 20 лет). В связи с этим в среднесрочной перспективе ожидается рост себестоимости добычи топливно-энергетических ресурсов и освоение нетрадиционных источников энергии. Следует также ожидать повышения глубины и качества переработки углеводородного сырья, что позволит снизить масштабы негативного воздействия на природную среду за счет производства более экологически чистых нефтепродуктов (при возможном одновременном росте затрат на переработку).

*Ужесточение экологических требований к энергетике* и проблемы, связанные с *изменением климата*, – увеличение среднегодовой температуры на планете; изменения количества осадков, состояния ледников; повышение уровня моря и риск экстремальных погодных явлений (дальнейшее обострение этих проблем ожидается в среднесрочном периоде), – ставят перед Россией задачу приведения национального законодательства в области энергетики в соответствие с новыми реалиями и международной практикой, а также реализации прочих мер экономического и институционального характера, направленных на экологически ориентированное развитие.



Рис. 2. Энергоэффективность и энергосбережение: вызовы и окна возможностей



Источник: НИУ ВШЭ.



Россия может участвовать в формировании *глобального рынка сжиженного природного газа* и его распространения в те страны, куда ранее доставка газа была невозможна. Природный газ рассматривается в качестве удачной альтернативы в странах, отказавшихся от ядерной энергетики, и дополняющим топливом для государств, планирующих делать ставку на возобновляемые источники энергии. Замещение нефти и угля природным газом позитивно скажется на состоянии окружающей среды: газ является наиболее «чистым» ископаемым топливом, при его сжигании в атмосферу выделяется гораздо меньшее количество  $\text{CO}_2$ . Однако особенности географического расположения российских запасов таковы, что обеспечить серьезные (сравнимые с Австралией или Катаром) позиции на этом рынке представляется крайне сложным.

*Развитие технологий возобновляемой энергетики* – вызов для России, ориентированной на использование традиционных источников. Масштабное применение возобновляемых источников вызовет необходимость их дополнения системами аккумулирования энергии, а также «гибкой» гидро- и газовой генерацией, способными обеспечить резервное дублирование в отсутствие подходящих условий для производства электроэнергии из возобновляемых источников. Кроме того, последние сами по себе уже породили многомиллиардный рынок оборудования. Продолжается разработка решений, направленных на повышение их экономической и технологической эффективности, что приведет к серьезному увеличению объемов их использования уже в среднесрочном периоде. При этом масштабного развития отдельных технологических направлений (например, топливных элементов на различных видах топлива) следует ожидать только ближе к 2030 г.

*Использование промышленных и бытовых отходов*, рост объемов которых в мире продолжится, открывает для России возможность существенного сокращения вредных выбросов и снижения потребления более дорогого топлива во многих отраслях экономики (металлургии, производстве цемента и др.). Для обеспечения высокой степени замещения топлива промышленными и бытовыми отходами (а в некоторых случаях возможно полное замещение) требуется создание систем обработки и контроля сырья, направленных на достижение гомогенных значений теплотворных характеристик. Следует отметить, что в среднесрочной и долгосрочной перспективе предполагается улучшение экологических показателей всех энергетических технологий.

*Внедрение энергосберегающих технологий* будет активно развиваться уже в краткосрочной перспективе. Их применение в России может снизить нагрузку на экономику за счет уменьшения энергоемкости и себестоимости продукции, укрепить финансовую устойчивость жилищно-коммунального хозяйства и привести к улучшению экологической ситуации вследствие сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу и других вредных загрязнений. К важным факторам повышения уровня энергосбережения относится развитие технологий, предназначенных для хранения электрической и тепловой энергии. С увеличением КПД и срока службы, сокращением производственных и эксплуатационных затрат и снижением потребности в пассивной мощности накопители энергии смогут значительно увеличить эффективность многих систем централизованной и децентрализованной генерации, в том числе солнечной, атомной, ветряной, геотермальной энергетики и пр. Появление новых электрохимических источников тока, характеризующихся высокой безопасностью, большой емкостью и низкой себестоимостью, способно ускорить электрификацию транспортных систем. Особый интерес проявляется к батареям химических аккумуляторов и электрохимическим конденсаторам.

*Тепловые насосы* получают распространение во многих странах – членах ОЭСР и имеют высокий потенциал для модернизации отопительных систем в жилом секторе. При успешном решении вопросов сервисного обслуживания, снижения стоимости и увеличения коэффициента преобразования тепловые насосы смогут стать эффективным источником тепловой энергии.



*Новые типы топливных элементов* на основе водорода способны составить конкуренцию другим источникам тока. Их развитие требует сокращения издержек, формирования инфраструктуры и рынка соответствующих устройств. Существуют перспективы создания гибридных энергетических установок мощностью более 20 МВт с КПД выше 70% на основе высокотемпературных топливных элементов. На сегодняшний день рассматриваемые технологии находятся на начальном этапе развития.

*Разработка перспективных реакторов на быстрых нейтронах и перспективных технологий замыкания ядерного топливного цикла* позволит многократно повысить эффективность использования ресурса ядерного топлива и заметно снизить объемы радиоактивных отходов.

Экспертами отмечены следующие **угрозы для России** в рассматриваемой сфере:

- низкий уровень извлечения и глубина переработки углеводородного сырья;
- нерациональная структура электросетевого хозяйства и генерирующих мощностей;
- низкие объемы энергосбережения в сфере конечного потребления;
- технологическая отсталость и высокая степень износа оборудования;
- неразвитость энергетической инфраструктуры значительной части территории страны;
- недостаточные объемы и низкая эффективность геологоразведочных работ;
- высокий уровень монополизации отечественных энергетических рынков, разрушающий конкуренцию и создающий запретительно высокие барьеры для входа в любое звено цепочки создания стоимости;
- расположение новых месторождений в экстремальных климатических и геологических условиях.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЫНКИ, ПРОДУКТЫ И УСЛУГИ

---

**П**ерспективные рынки для продуктов и услуг в сфере энергетики могут быть рассмотрены применительно к отдельным группам энергоресурсов: природным, переработанным, преобразованным и вторичным, или побочным. Эти группы являются традиционными продуктами отраслей топливно-энергетического комплекса и некоторых других секторов экономики.

Научные исследования и разработки в энергетике направлены на увеличение эффективности добычи, переработки и передачи топлива и энергии. Наряду с инерционными процессами происходят революционные технологические изменения, которые влекут за собой появление принципиально новых технологий и радикальную трансформацию энергетических рынков.

***Перспективные рынки для приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение»:***

- нефть нетрадиционных месторождений и нетрадиционная нефть;
- природный газ нетрадиционных месторождений;
- сжиженный природный газ;
- альтернативные моторные топлива;
- топливные элементы;
- системы дальней передачи электроэнергии и топлива;
- аккумулирование электроэнергии, тепла и холода;
- перспективное ядерное оборудование и атомная генерация;
- биоэнергетическое топливо;
- «умные» сети;
- оборудование для возобновляемой энергетики;
- тепловые насосы и геотермальные установки;
- высокоэффективные теплоэнергетические установки;
- энергосберегающее оборудование.

Инновационные продукты и услуги для приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение» отражены в табл. 1.

Среди перечисленных групп инновационных продуктов и услуг были выделены те, которые окажут радикальное влияние на мировые рынки в долгосрочной перспективе (рис. 3). В области энергоэффективности и энергосбережения это прежде всего:

- топлива со значительно улучшенными характеристиками и потребительскими свойствами;
- энергоресурсы, получаемые с помощью инновационных технологий или обладающие высокими потребительскими качествами и рыночным потенциалом (электроэнергия от ветроэлектрических станций, сжиженный природный газ и др.).



**Табл. 1. Перспективные рынки и продуктовые группы приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение»**

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
Нефть нетрадиционных месторождений и нетрадиционная нефть	Тяжелые (менее 20° API) и сверхтяжелые (менее 10° API) нефти Нефтяные пески и битумы (менее 10° API, повышенной вязкости) Нефть, добываемая из низкопроницаемых пород (включая сланцы), и жидкие углеводороды, сопутствующие добыче сланцевого газа Нефть Баженовской свиты (включая кероген)	Более высокая себестоимость производства по сравнению с традиционной нефтью Более «грязные» технологии добычи по сравнению с традиционной нефтью Расширение объемов и географии добычи Непригодность действующих трубопроводов для транспортировки Технологии переработки находятся в зачаточной стадии
Природный газ нетрадиционных месторождений	Угольный метан Сланцевый газ Газ низкопроницаемых пород Газ глубоких горизонтов Газогидраты Водорастворенный метан	Более высокие затраты на разработку по сравнению с традиционными месторождениями газа Расширение объемов и географии добычи Необходимость использования новых методов транспортировки, в основном морским транспортом, что удорожает перевозку и ограничивает ее удельные объемы
Сжиженный природный газ*	Плавучие терминалы по регазификации (floating storage regasification unit, FRSU) Завод по сжижению газа на берегу, терминал по отправке, включающий порт, емкости для хранения сжиженного природного газа, установки для загрузки судов (метановозов) Флот метановозов Плавучие заводы по производству сжиженного природного газа (floating liquefied natural gas, FLNG)	Необходимость создания «с нуля» всей транспортной инфраструктуры Создание новых источников техногенных рисков Мобильность добычи газа на шельфе Мобильность приемки и разжижения природного газа
Альтернативные моторные топлива	Синтетическое моторное топливо из природного газа, угля или биомассы Водород для получения электроэнергии в топливных элементах, используемой для приведения в движение транспортного средства Электроэнергия, получаемая из сети, в электромобилях	Повышение техногенной и экологической безопасности хранения и эксплуатации Снижение себестоимости производства Рост надежности поставок
Топливные элементы	Топливные элементы с протонообменной мембраной / с полимерным электролитом Фосфорно-кислотные топливные элементы Топливные элементы с расплавом карбонатов Щелочные топливные элементы Твердоокисные топливные элементы Прямые метанольные топливные элементы	Увеличение эффективности преобразования химической энергии топлива в электрическую Компактность Увеличение емкости Высокая стоимость платины, используемой в качестве катализатора



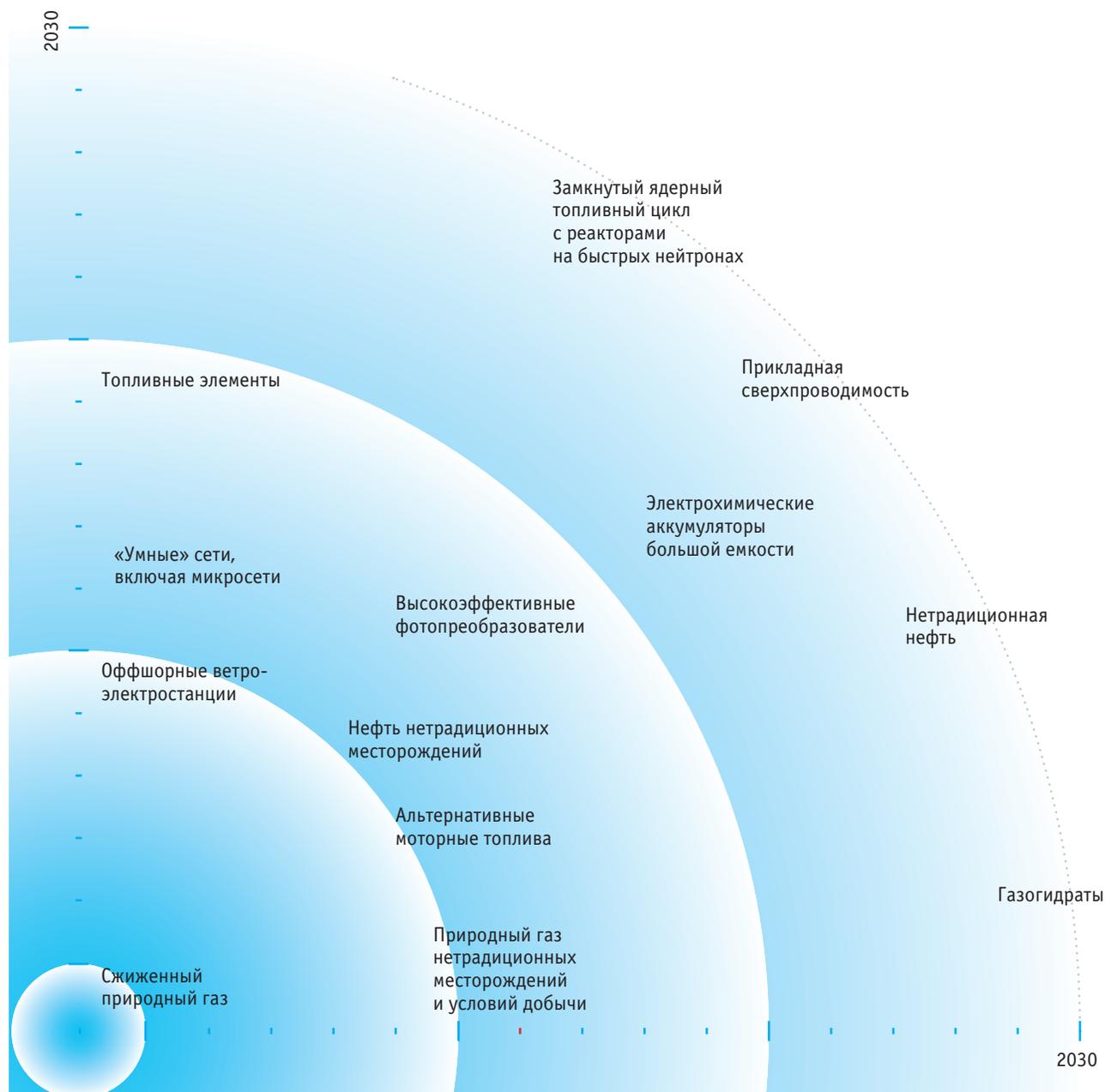
(окончание)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
	<p><i>На разных стадиях разработки находятся другие типы топливных элементов, в частности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– с прямым окислением угля</li><li>– микробиологические</li><li>– обратимые и др.</li></ul>	
Системы дальнейшей передачи электроэнергии и топлива	Технологии прикладной сверхпроводимости (высокотемпературные сверхпроводники) Газоизолированные линии для передачи электроэнергии большой мощности	Низкие потери при передаче Увеличение объемов транспортировки в единицу времени Расширение географии потребления
Аккумуляция электроэнергии, тепла и холода	Гидроаккумулирующие электростанции Воздухоаккумулирующие устройства Сверхпроводящие магнитные накопители энергии Электрохимические аккумуляторы	Увеличение времени работы и мощности аккумуляторов Повышение эффективности преобразования энергии Повышение надежности электроснабжения
Перспективное ядерное оборудование и атомная генерация	Энергетические ядерные реакторы на тепловых нейтронах большой мощности четвертого поколения Ядерные реакторы на быстрых нейтронах Высокотемпературные ядерные реакторы Реакторы малой мощности Инновационный ядерный реактор с водой под давлением (European Pressurised Water Reactor, EPR) Оптимальные системы управления энергоблоками АЭС Атомная теплофикация	Повышение техногенной и экологической безопасности Увеличение объемов безуглеродного производства энергии
Биоэнергетическое топливо	Биоэтанол Биодизель	Снижение себестоимости производства Улучшение эксплуатационных характеристик Увеличение энергоемкости
«Умные» сети	Интеллектуальные сети в структуре Единой энергетической системы страны Интеллектуальные мини- и микросети на базе распределенной генерации	Более эффективная эксплуатация, оптимизация и распределение нагрузки в сети Снижение потребности в масштабных капитальных затратах на новые подстанции и линии электропередач

\* Важным фактором выбора способа транспортировки природного газа является длина транспортного плеча. По оценкам Международного энергетического агентства, при современных производственных мощностях поставка сжиженного природного газа на расстояние свыше 2500–3000 км оказывается более эффективной, чем трубопроводный транспорт.



**Рис. 3. Инновационные продукты и услуги, оказывающие радикальное влияние на динамику мировых рынков в приоритетном направлении «Энергоэффективность и энергосбережение»**



*Нефть нетрадиционных месторождений* включает трудноизвлекаемые запасы углеводородного сырья, в частности ресурсы традиционной (или подвижной) нефти со сложными условиями добычи и неподвижной (или малоподвижной) нефти, обусловленные низкой пористостью коллекторов или высокой молекулярностью самого углеводородного сырья, – плотные и высоковязкие нефти. Однако в силу более низких потребительских качеств и высокой себестоимости извлечения запасы нефти нетрадиционных месторождений и условий добычи в целом оценены лишь приблизительно. Добыча тяжелых нефтей в настоящее время осуществляется в Канаде, Венесуэле, США и ряде других стран, включая Россию, но в со-



ответствии с большей частью прогнозов в ближайшие два десятилетия эти продукты не будут вносить значимый вклад в мировую нефтедобычу.

Рентабельное вовлечение в разработку *нетрадиционной нефти* (тяжелых нефтей и битумов) позволяет в несколько раз увеличить ресурсную базу углеводородов. Вместе с тем добыча тяжелых нефтей относится к «грязному» производству, выбросы  $\text{CO}_2$  многократно превышают выбросы при добыче традиционной нефти. Затраты на добычу окупаются только при высоких мировых ценах на нефть. Таким образом, тяжелые нефти становятся стратегическим резервом жидкого топлива для энергетики развитых стран в случае кризиса.

*Природный газ нетрадиционных месторождений и условий добычи* (сланцевый, водорастворенный, газ других низкопроницаемых пород и глубоких горизонтов, угольный метан, газовые гидраты) отличается более низким содержанием полезного компонента на единицу площади и более высокими затратами на разработку по сравнению с традиционными резервуарами. Ресурсы нетрадиционного газа оцениваются примерно в 950–1200 трлн  $\text{м}^3$  (без учета газогидратов и водорастворенного газа, увеличивающих этот показатель на порядок) и в два с лишним раза превосходят объем традиционных ресурсов.

В последние годы на мировом энергетическом рынке заметно возрастает роль *сжиженного природного газа*. Главное его преимущество заключается в возможности трансконтинентальных перевозок с помощью крупнотоннажных криогенных танкеров. Развитие технологий сжиженного природного газа оказывает существенное влияние на процессы глобализации мировых газовых рынков: появляются перспективы добычи газа в регионах, где прокладывание трубопроводных систем не считается целесообразным, и ряд стран, не имеющих собственных запасов природного газа и к тому же отличающихся невыгодным географическим положением, получают возможность внедрения газового топлива и сырья в свои экономики. С развитием этих технологий связан рост доли природного газа в структуре мирового энергетического баланса за счет замещения нефти и угля, что, в свою очередь, ведет к уменьшению выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

В России сложились благоприятные условия для формирования и сохранения богатых ресурсов *газогидратов*. Отметим, что скопления природных гидратов метана обладают максимальными коммерческими перспективами промышленного освоения, которые ограничены в настоящее время высокой себестоимостью добычи и серьезными техногенными рисками. Создание промышленной технологии их добычи способствовало бы беспрецедентному приросту запасов газа, способному удовлетворить мировой спрос на несколько столетий вперед. Добыча метана из нового крупного месторождения газовых гидратов может кардинально изменить конфигурацию мирового рынка газа и состав игроков – как производителей, так и покупателей. Это обусловлено тем фактом, что обширными запасами гидратов метана обладают страны – импортеры природного газа (например, Япония). В России континентальные ресурсы газогидратов, наиболее перспективные для промышленного освоения, составляют, по оценкам, около 400 трлн  $\text{м}^3$  и сосредоточены в областях распространения многолетнемерзлых пород в Восточной Сибири, Тимано-Печорском и Западно-Сибирском нефтегазоносных бассейнах.

Мировой прирост электрических мощностей на ветряных электростанциях в период до 2035 г., как ожидается, составит около 860 ГВт, 20% из которых должны приходиться на высокотехнологичные морские ветроэлектростанции. Последние будут сооружаться наиболее быстрыми темпами; их суммарная мощность, по оценкам экспертов, должна возрасти более чем в 40 раз, что обуславливает интерес к *оффшорным ветроэлектростанциям*. В настоящее время их доля в общей генерации электроэнергии мировой ветроэнергетики не превышает 1.7%, большинство из них выполняют функции пилотных проектов. Распространение электростанций подобного типа позволит значительно расширить вовлекаемые в оборот ресурсы ветра и избежать ряда проблем, связанных с развитием наземной ветроэнергетики, таких как изъятие земель из хозяйственного оборота, шумовые воздействия,



влияние стробоскопического эффекта и др. Оффшорный ветер является более «качественным» ресурсом для ветроэнергетики, поскольку отличается большей среднегодовой скоростью и постоянством.

*Альтернативные моторные топлива* направлены на удовлетворение перспективных потребностей в жидком топливе и характеризуются приемлемыми затратами, минимальным ущербом для окружающей среды и здоровья людей, повышенной надежностью поставок на внутренние рынки. В связи с ожидаемым ростом спроса на моторные топлива, которые сегодня в России составляют не менее 80–85% выпуска нефтепродуктов, этот альтернативный продукт сможет замещать все большую долю топлив, получаемых из сырой нефти. По экспертным оценкам, высока вероятность того, что после 2020 г. он составит конкуренцию традиционным топливам.

*Топливные элементы* также представляются перспективным направлением развития экологически чистой энергетики. Разработка таких устройств, предполагающих прямое преобразование химической энергии топлива в электрическую, уже несколько десятилетий претендует на роль прорывной технологии, способной совершить революцию в энергетике. Достижения последних лет приблизили данную технологию к стадии массового коммерческого внедрения и вернули интерес к ней со стороны энергетических компаний. Рассматриваются три основных направления использования топливных элементов: стационарная энергетика (производство электроэнергии, когенерация, источники бесперебойного питания); транспортная энергетика (источники тока в электромобилях, грузовиках, военной технике, космических аппаратах и др.); портативная энергетика (источники тока в мобильных системах, зарядные устройства и т.п.). Важнейшими достоинствами топливных элементов считаются высокий КПД (60–80%) и компактность. Среди недостатков можно отметить отсутствие инфраструктуры для заправки и высокую стоимость платины, используемой в качестве катализатора.

В ближайшие годы солнечная энергетика будет базироваться преимущественно на применении различных типов *высокоэффективных фотопреобразователей*. К их ключевым преимуществам относится возможность генерации электроэнергии непосредственно конечными потребителями, что позволит экономить на развитии электрических сетей. В настоящее время идет интенсивная разработка новых перспективных фотопреобразователей с использованием полного спектра солнечного излучения, с высоким КПД и длительным ресурсом работы. Фотоэлектрические источники тока применяются для питания потребителей в широком интервале мощностей: от нескольких ватт (мини-генераторы для часов и калькуляторов) до нескольких мегаватт (электростанции). Основное применение фотоэлектрические преобразователи находят в солнечных батареях различных типов; развиваются транспортные и авиационные приложения солнечных батарей.

Электрохимические аккумуляторы электроэнергии (аккумуляторные батареи) получили широкое распространение во многих областях, прежде всего для питания мобильных устройств и на транспорте, а также в качестве стационарных установок – для обеспечения бесперебойного питания ответственных устройств (связи, вычислительной техники и др.). *Электрохимические аккумуляторы большой емкости*, используемые в энергетике для относительно длительного хранения электрической энергии, могут играть важную роль в системах распределенной генерации для обеспечения оперативного резерва, стабилизации электрофизических параметров локальной электроэнергетической системы, в том числе регулирования частоты и напряжения. Применение электрохимических аккумуляторов нового поколения позволит усилить конкурентоспособность возобновляемой энергетики и реализовать на практике концепцию распределенной генерации – увеличить загрузку и эффективность работы традиционных электрогенерирующих установок за счет возможности аккумулирования энергии, повысить качество электроснабжения конечных потребителей, сократить потери электроэнергии в электрических сетях, уменьшить затраты на развитие



и эксплуатацию магистральных электрических сетей, аккумулировать электроэнергию и создавать оперативный резерв мощности непосредственно у потребителей.

Разработка «умных» сетей, включая микросети, нацелена на снижение стоимости электроэнергии и создание резерва мощности у конечных потребителей. Результатом дальнейшего совершенствования этой технологии должно стать повышение надежности и безопасности электроснабжения, уровня автоматизации технологических процессов, внедрение цифровых технологий и микропроцессорной техники в системы мониторинга и управления, сокращение эксплуатационных затрат. Спрос на рассматриваемые технологии и оборудование в России достаточно высок, что объясняется необходимостью масштабного обновления отечественной электроэнергетики. Рост мировой потребности в электротехническом оборудовании порождает здесь высокий экспортный потенциал.

Одно из ограничений современной атомной энергетики с открытым ядерным топливным циклом и реакторами на тепловых нейтронах – значительное и постоянно нарастающее количество хранимого облученного ядерного топлива. Кроме того, эти технологии не позволяют в полной мере использовать запасенную в ядерных энергоресурсах энергию, поскольку более 90% добытого урана остается в отвалах обогатительного производства, а эффективность использования топлива в реакторах с водяным теплоносителем невысока. Комплексное решение существующих проблем возможно путем концентрации усилий и ресурсов на создании ядерных энерготехнологий нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом. Это пакет связанных технологических решений, способных обеспечить расширенное воспроизводство делящегося ядерного материала одновременно с выработкой электроэнергии при минимизации радиологической нагрузки на окружающую среду на всех технологических переделах и тем самым оказать революционное воздействие на мировой атомный рынок. Дополнительной полезной опцией замкнутого ядерного топливного цикла является возможность использования реакторов на быстрых нейтронах для решения исторически унаследованной проблемы накопления отработанного ядерного топлива. Рассматриваемая инновационная технология принципиально отличается от существующих отсутствием двух ключевых затратных технологических переделов — добычи урана и его обогащения — и наличием нового передела — многократной рефабрикации ядерного топлива, что сочетается с иммобилизацией и окончательной изоляцией высокоактивных отходов.

В качестве одного из наиболее перспективных инновационных направлений повышения энергоэффективности рассматриваются технологии прикладной сверхпроводимости, а именно комплексная разработка и создание производств широкого спектра электротехнического оборудования на основе новейших решений, связанных с применением уникальных материалов – высокотемпературных сверхпроводников. В сфере коммерческой энергетики особенно привлекательно использование сверхпроводников для создания кабелей и силовой электротехники и хранения электроэнергии (индукционных накопителей). Сверхпроводниковые кабели за счет сверхмалых потерь энергии дают возможность вывести на более высокий уровень энергоэффективность сетевого хозяйства, создавая принципиально новые условия для размещения объектов генерации и экспорта электроэнергии. Технологии сверхпроводникового хранения энергии обеспечат сглаживание пиковых нагрузок, выравнивание напряжения и силы тока, компенсирующие поставки электричества в условиях аварий в сетях, что позволяет нивелировать вариативный характер альтернативной генерации. Электротехническое оборудование и силовые установки на основе эффекта сверхпроводимости призваны повысить показатели эффективности на железнодорожном и морском транспорте, в энергетике, нефтегазовой отрасли, обрабатывающей промышленности и др. Максимальный результат может быть достигнут при их сочетании с технологией smart grid. Отечественные разработки высокотемпературных сверхпроводников находятся на разных стадиях – от фундаментальных исследований до эксплуатационных испытаний прототипов



отдельных видов оборудования. Прогнозы динамики российского рынка сверхпроводникового электроэнергетического оборудования весьма оптимистичны и отражают его высокий потенциал и возможность долговременного развития. Ожидается, что объем производства различных видов оборудования (накопителей (5–20 МДж), токоограничителей (3–35 кВ), генераторов (5–35 МВт), электродвигателей (5–35 МВт), синхронных компенсаторов (5–35 МВт), кабелей (1 км, 20 кВ, 2 кА), трансформаторов и др.) составит к 2020 г. 36.5 млрд руб.

Рассмотренные направления будут способствовать радикальной трансформации традиционных рынков и создадут возможности для зарождения новых. Среди перспективных и привлекательных для России сегментов эксперты отметили: аккумулирование электроэнергии, тепла и холода; рынки нетрадиционной нефти; сферу продаж оборудования для возобновляемой энергетики, топливных элементов, биоэнергетических технологий.

Для продуктов, способных оказать радикальное влияние на динамику мировых рынков в долгосрочной перспективе, были выявлены основные отечественные и зарубежные центры, осуществляющие научные исследования и разработки в данном направлении. К числу лидеров относятся организации из США, стран ЕС (в первую очередь Франции, Германии, Великобритании и Норвегии), Китая и Японии.



## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрев ключевые перспективные рынки для приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение», а также выделенные для каждого из них инновационные продукты и услуги, которые появятся в период до 2030 г., перейдем к анализу имеющихся отечественных научно-технологических заделов. Экспертами были выделены 14 тематических областей прикладных исследований, обладающих наибольшим потенциалом для России (рис. 4).

**Рис. 4. Тематические области приоритетного направления «Энергоэффективность и энергосбережение»**





В сфере получения ископаемых топлив наиболее актуальны исследования, связанные с созданием роботизированных комплексов для подводной добычи углеводородов и подземной добычи угля с длительным ресурсом работы в автоматическом режиме и дистанционным управлением; разработкой технологий экономически эффективной добычи углеводородного сырья из нетрадиционных месторождений (включая газовые гидраты, нефтяные пески, высоковязкие нефти, газ угольных пластов) и при аномальных условиях (плотные формации, в том числе сланцевые, аномально высокие давления, глубокие и сверхглубокие горизонты, низкая объемная плотность ресурсов и др.). Активно совершенствуются технологии глубокой переработки некондиционных ресурсов природных газов и низкокачественных углей в конкурентоспособные моторные топлива и химические продукты.

Теплоэнергетика будет развиваться в направлении разработки материалов и технологий для создания высокоманевренных газотурбинных установок большой мощности с предельным КПД и минимальными выбросами вредных веществ, которые в перспективе составят основу крупной энергетики. Продолжаются интенсивные исследования безопасных ядерных реакторов на быстрых нейтронах и безопасного замкнутого ядерного цикла – важного элемента централизованного электроснабжения. Прогресс в области энергетики малых мощностей связан с созданием низкотемпературных топливных элементов предельно высокой эффективности с длительным ресурсом работы, не предъявляющих специальных требований к качеству топлива и характеризующихся низкой стоимостью приобретения и владения.

Что касается возобновляемой энергетики, то здесь научные исследования ведутся чрезвычайно широким фронтом: это и проектирование дешевых фотопреобразователей с предельно высоким КПД и длительным ресурсом работы, использующих полный спектр солнечного излучения; и разработка технологий для морской ветроэнергетики больших мощностей, обеспечивающих надежное функционирование установок на значительных глубинах и вдали от берега; и создание высокоэффективных методов получения водорода путем фотохимического и электролитического разложения воды. В сфере распределенной электрогенерации на базе возобновляемых источников энергии решающее значение приобретают технологии аккумулирования электроэнергии большой емкости и мощности с невысокой стоимостью. Особое место принадлежит биоэнергетике, претендующей на роль нового сегмента отрасли, развивающегося с учетом потребностей охраны окружающей среды и предотвращения изменения климата.

Разработка энергосберегающих технологий и оборудования остается в числе основных направлений развития энергетики. Новый импульс решению проблемы энергосбережения должны придать исследования, направленные на создание интеллектуальных локальных электроэнергетических систем с автоматическим управлением электропотреблением, работающих в режиме реального времени на основе интеграции электрических и информационных сетей.

Экспертные оценки уровня исследований, осуществляемых в России в области энергоэффективности и энергосбережения, варьируются достаточно сильно: от «белых пятен» по таким направлениям, как газификация твердых топлив нового поколения и технологии и средства дистанционного управления энергетическим оборудованием, до признания существенных заделов, сопоставимых с разработками мирового уровня (в частности, в сфере безопасных ядерных реакторов на быстрых нейтронах и технологий добычи некоторых видов нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья).

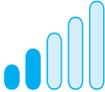
## 3.1. Эффективная разведка и добыча ископаемых топлив

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные экологически безопасные технологии разведки и добычи ископаемых топлив, обеспечивающие высокий коэффициент извлечения ресурсов.



**Табл. 2. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Эффективная разведка и добыча ископаемых топлив»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные технологии сейсморазведки		Разработка технологий разведки месторождений углеводородов в формате 4D с высоким разрешением и визуализацией результатов
		Разработка технологий разведки морских месторождений углеводородов в формате 3D/4D с применением подводных автономных самонаводящихся аппаратов и GPS/ГЛОНАСС навигации, в том числе для полярных условий
		Создание датчиков и многоканальных приемных устройств для подводной разведки месторождений углеводородов
		Разработка программного обеспечения для сбора и анализа больших массивов информации геологоразведки с использованием суперкомпьютеров
Перспективные технологии добычи нефти и газа		Разработка концепции интеллектуального месторождения углеводородов и необходимых технических средств для ее реализации
		Создание подводных роботизированных добычных комплексов с длительным ресурсом работы в автоматическом режиме и дистанционным управлением
		Создание технических средств для непрерывного мониторинга состояния коллекторов нефтегазовых месторождений с высокой степенью разрешения и компьютерной обработки получаемой информации с 4D-визуализацией получаемых результатов
		Разработка технологий для создания ледостойких и сейсмически устойчивых платформ для добычи углеводородов в арктических условиях
		Разработка технологий бурения скважин, вторичного вскрытия продуктивных пластов, в том числе низкой проницаемости, новых типов буровых растворов, включая полимерные
		Разработка новых вторичных и третичных методов интенсификации извлечения углеводородного сырья, в том числе высокой вязкости
		Разработка технологий добычи углеводородного сырья из нетрадиционных месторождений (газовые гидраты, нефтяные пески, высоковязкие нефти, сланцевый газ, газ угольных пластов и др.) и для аномальных условий (плотные формации, аномально высокие давления, глубокие и сверхглубокие горизонты, низкая объемная плотность ресурсов и др.)



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные технологии добычи угля		<p>Разработка новых технологий геологоразведки угольных месторождений, методов математического моделирования геофизического состояния горных выработок и нового программного обеспечения</p> <p>Разработка роботизированных технологий подземной добычи угля с высокой селективностью</p> <p>Разработка скважинных технологий извлечения угля, включая подземную газификацию и гидродобычу</p> <p>Разработка эффективных технологий дегазации угольных пластов с получением угольного метана</p> <p>Разработка приборного парка для обеспечения эффективного и безопасного ведения горных работ, включая шахтные георадары, приборы непрерывного химического мониторинга атмосферы шахтных выработок и др.</p>

## 3.2. Эффективная и экологически чистая теплоэнергетика

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- новое поколение теплоэнергетических установок на органических топливах, созданных с учетом требований охраны окружающей среды и предотвращения изменения климата, со значениями КПД, близкими к предельным, и высокими эксплуатационными характеристиками.

**Табл. 3. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Эффективная и экологически чистая теплоэнергетика»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные теплоэнергетические установки на природном газе с высокими эксплуатационными свойствами		<p>Выбор оптимальных тепловых схем и параметров теплоэнергетических установок на природном газе со сложными термодинамическими циклами и высокими начальными параметрами рабочего тела</p> <p>Разработка газотурбинных установок большой мощности с высокими маневренными свойствами и минимальным уровнем образования вредных веществ</p> <p>Разработка решений в области газовых турбин средней и малой мощности, в том числе высокооборотных, для использования в составе когенерационных установок</p> <p>Создание эффективных систем автоматического управления процессами и мощностью сложных теплоэнергетических установок на природном газе</p>



(продолжение)

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Высокоэффективные теплоэнергетические установки на твердом топливе, безопасные для окружающей среды и климата		Разработка перспективных паротурбинных установок с ультра-высокими параметрами пара (720–750 °С, 35 МПа) на твердом топливе
		Разработка парогазовых установок с внутрицикловой газификацией твердого топлива
		Разработка новых высокоэффективных и надежных технологий газификации твердого топлива
		Разработка гибридных энергоустановок, интегрирующих топливные элементы на продуктах газификации твердого топлива с газовым и паровым циклами
		Создание эффективных систем автоматического управления процессами и мощностью теплоэнергетических установок на твердом топливе, включая алгоритмы и методы диагностирования состояния и ресурса оборудования, водно-химического режима и технико-экономических показателей
Перспективные теплоэнергетические установки с низкотемпературным циклом		Разработка новых типов теплоэнергетических установок с низкотемпературным циклом, оптимизация их технологических схем и параметров
		Выбор перспективных рабочих тел для теплоэнергетических установок с низкотемпературным циклом Ренкина, обоснование оптимальных технических решений по основному оборудованию
Новые типы электрогенерирующих установок на основе поршневых технологий		Разработка новых типов двигателей внешнего сгорания для производства электроэнергии на основе низкокачественных топлив
		Разработка новых типов двигателей внутреннего сгорания для стационарных когенерационных установок, в том числе на продуктах газификации твердого топлива
		Разработка новых типов паровых двигателей для когенерационных установок
Новые технологии прямого преобразования химической энергии органических топлив в электрическую с высоким КПД и длительным ресурсом работы		Разработка новых типов низкотемпературных топливных элементов высокой эффективности с минимальными требованиями к качеству топлива
		Разработка новых типов высокотемпературных топливных элементов с предельной эффективностью
		Разработка новых типов топливных элементов с прямым окислением органических топлив



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Новые технологии экологически чистого сжигания органических топлив и горючих отходов		<p>Разработка новых технологий сжигания органических топлив с минимальным образованием вредных веществ</p> <p>Разработка экологически безопасных технологий сжигания горючих отходов, включая бытовые, в том числе по многоступенчатой схеме с предварительной газификацией, в частности плазменной</p> <p>Исследование процессов каталитического окисления органических топлив в различном агрегатном состоянии</p> <p>Разработка научно-технических предложений по созданию технологий окисления органических топлив в химических циклах</p>
Высокоэффективные технологии разделения и очистки газовых смесей и жидкостей для перспективных энергетических и энерготехнологических установок		<p>Разработка высокоэффективных технологий очистки дымовых газов от оксидов серы, оксидов азота и твердых частиц</p> <p>Разработка эффективных технологий выделения CO<sub>2</sub> из дымовых газов и генераторного газа</p> <p>Разработка технологий комплексной очистки дымовых газов установок по сжиганию горючих отходов от вредных веществ, включая тяжелые металлы, полиароматические углеводороды и др.</p> <p>Разработка эффективных технологий разделения воздуха для применения в перспективных энергоустановках</p> <p>Разработка новых технологий очистки воды и стоков для применения в перспективных энергоустановках</p>

## 3.3. Безопасная атомная энергетика

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- безопасные атомные энергетические установки и эффективный топливный цикл.

**Табл. 4. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Безопасная атомная энергетика»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Водо-водяные энергетические реакторы большой мощности четвертого поколения		<p>Разработка технологии и оборудования для водо-водяных энергетических реакторов четвертого поколения повышенной безопасности и эффективности, способных функционировать в маневренном режиме</p> <p>Исследования, направленные на повышение КПД атомных энергоблоков за счет увеличения средней температуры цикла, оптимизации тепловой схемы АЭС, а также совершенствования основного и вспомогательного оборудования</p>



(продолжение)

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		Исследования, направленные на повышение экономической эффективности АЭС за счет повышения надежности оборудования, увеличения длительности топливной кампании, снижения капиталовложений в строительство АЭС и сокращения эксплуатационных затрат
Реакторы на быстрых нейтронах повышенной безопасности		<p>Разработка технологии и оборудования для реакторов на быстрых нейтронах различного типа повышенной безопасности</p> <p>Формирование математических моделей реакторов на быстрых нейтронах и энергоустановок на их основе</p> <p>Технико-экономическая оценка долгосрочных перспектив, масштабов и эффективности использования ядерных реакторов на быстрых нейтронах и замкнутого ядерного топливного цикла</p> <p>Создание оптимальной структуры топливообеспечения ядерной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах</p> <p>Исследования, направленные на минимизацию угрозы распространения делящихся материалов</p>
Высокотемпературные ядерные реакторы и сопутствующая инфраструктура их применения		<p>Разработка технологии и оборудования для высокотемпературных ядерных реакторов различного типа повышенной безопасности</p> <p>Создание на базе высокотемпературных ядерных реакторов крупномасштабных энерготехнологических комплексов различного назначения</p> <p>Оценка экономической эффективности применения высокотемпературных реакторов и определение наиболее эффективных областей их использования</p>
Безопасные и экономически эффективные ядерные реакторы малой и средней мощности		<p>Разработка технологии и оборудования для безопасных и экономически эффективных ядерных реакторов малой и средней мощности и атомных электростанций на их основе, включая транспортабельные и плавучие АЭС</p> <p>Исследования, направленные на определение областей и экономической эффективности применения ядерных реакторов малой и средней мощности, оптимизацию логистических схем их изготовления и использования</p>
Новые технологии замыкания ядерного топливного цикла		<p>Разработка новых технологий производства ядерного топлива (МОХ-топливо, плотное топливо, керметное топливо, микротопливо и др.)</p> <p>Разработка новых технологий переработки облученного ядерного топлива («сухой» переработки, фракционирования и др.), совершенствование технологии его «мокрой» переработки, создание безопасной системы обращения с радиоактивными отходами</p> <p>Оптимизация технологической структуры замкнутого ядерного топливного цикла повышенной безопасности и эффективности</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Оптимизация структуры атомной энергетики в энергетическом балансе страны		<p>Определение оптимальной структуры ядерной энергетики страны, обеспечивающей ядерную, радиационную безопасность и гарантии нераспространения во всех звеньях гражданского атомного комплекса и на всех этапах жизненного цикла ядерных установок – от добычи урана до изоляции радиоактивных отходов</p> <p>Формирование оптимизационных моделей ядерно-энергетического комплекса страны и соответствующих математических методов</p>
Технологические основы управляемого термоядерного синтеза для энергетики		<p>Разработка технологии надежного ведения управляемого термоядерного синтеза в реакторе промышленного масштаба</p> <p>Разработка оборудования промышленного термоядерного реактора</p> <p>Оптимизация технологической схемы и параметров промышленной термоядерной энергетики, создание «гибридных» систем</p>

## 3.4. Эффективное использование возобновляемых видов энергии

Ожидаемые результаты заделных исследований:

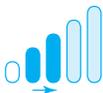
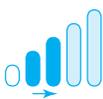
- перспективные технологии использования возобновляемых видов энергии и создание в стране новой отрасли энергетики.

**Табл. 5. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Эффективное использование возобновляемых видов энергии»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные преобразователи солнечной энергии в электрическую		<p>Разработка фотопреобразователей с высоким КПД и длительным ресурсом работы; использование полного спектра солнечного излучения</p> <p>Создание теплоэнергетических установок на базе прямого солнечного излучения, выбор перспективных рабочих тел, оптимизация тепловой схемы и параметров солнечной электростанции</p> <p>Создание систем концентрирования солнечной энергии</p>
Перспективные солнечные коллекторы		<p>Создание солнечных коллекторов с жидким теплоносителем, выбор перспективных теплоносителей</p> <p>Создание солнечных коллекторов с газообразным теплоносителем и систем теплоснабжения на их основе</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные преобразователи энергии ветра в электрическую		<p>Разработка ветродвигателей</p> <p>Разработка технологий для морской ветроэнергетики, обеспечивающих длительную и надежную работу установок на больших глубинах и вдали от берега</p> <p>Создание систем оптимального автоматического управления режимами работы ветряных электростанций</p> <p>Исследования, направленные на повышение корректности оценок ветропотенциала и прогнозирования параметров ветра</p>
Новые технологии для гидроэнергетики		<p>Разработка высокоэффективных технологий преобразования механической энергии водного потока в электрическую</p> <p>Разработка новых технологий мониторинга состояния генерирующего оборудования гидроэлектростанций и гидротехнических сооружений</p>
Новые технологии преобразования механической энергии морской среды в электрическую		<p>Разработка технологий преобразования энергии приливов в электрическую с минимальным воздействием на окружающую среду</p> <p>Разработка технологий преобразования энергии волн в электрическую</p>
Перспективные технологии использования низкопотенциального тепла природных сред		<p>Разработка бинарных технологий использования геотермальной энергии, поиск высокоэффективных низкокипящих рабочих тел, оптимизация тепловых схем и параметров бинарных установок, минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду</p> <p>Разработка эффективных технологий отбора тепла от сухих горных пород с больших глубин и транспортировки его на поверхность с минимальными потерями и низким гидравлическим сопротивлением</p> <p>Разработка новых экономически эффективных технологий бурения горных пород на большие глубины и увеличения их проницаемости для теплоносителя</p> <p>Создание тепловых насосов различного назначения с использованием новых рабочих тел, термодинамических циклов, технических принципов и схем</p>

### 3.5. Перспективная биоэнергетика

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные технологии производства и эффективного использования энергетической биомассы, прямого получения моторных топлив из CO<sub>2</sub> и создание в стране новой отрасли энергетики.



**Табл. 6. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Перспективная биоэнергетика»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные технологии производства энергетической биомассы		<p>Разработка новых технологий выращивания агрокультур с высоким выходом биомассы и мягкими требованиями к необходимым ресурсам (качеству почв, количеству потребляемой воды и удобрений)</p> <p>Разработка новых технологий выращивания аквакультур с высоким выходом биомассы; создание высокоэффективных микроорганизмов</p> <p>Разработка технологий утилизации CO<sub>2</sub> электростанций с производством биомассы</p> <p>Разработка технологий производства биомассы на основе искусственного фотосинтеза</p>
Перспективные технологии переработки энергетической биомассы		<p>Разработка эффективных технологий биохимического производства биогаза из растительного сырья различного происхождения с использованием достижений биоинженерии, включая создание высокоэффективных микроорганизмов</p> <p>Разработка новых технологий производства жидких моторных топлив, включая авиакеросин, и их компонентов из растительного сырья</p> <p>Разработка новых технологий переработки биомассы с производством химических продуктов с высокой добавленной стоимостью (биопластиков и др.)</p> <p>Разработка новых технологий переработки биомассы в высококачественные твердые топлива</p>
Перспективные технологии энергетического использования биомассы		<p>Разработка технологий сжигания биомассы и энергетических установок на их основе</p> <p>Разработка экологически безопасных технологий газификации биомассы и электрогенерирующих установок на их основе</p>
Новые биотехнологии получения моторных топлив из CO <sub>2</sub> без использования процесса фотосинтеза		<p>Разработка новых биохимических методов производства высококачественных моторных топлив из CO<sub>2</sub> без использования процесса фотосинтеза</p> <p>Создание новых видов генномодифицированных микроорганизмов, безопасных для окружающей среды, эффективно продуцирующих компоненты моторных топлив путем фиксации CO<sub>2</sub> из газовой смеси при внешнем подводе энергии</p>

## 3.6. Глубокая переработка органических топлив

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- определение наиболее рациональных путей повышения эффективности использования добываемых в стране ископаемых органических топлив;



- создание соответствующего научно-технического задела для разработки передовых технологий, призванных обеспечить существенное увеличение добавленной стоимости в топливных отраслях экономики и экспортного потенциала страны.

**Табл. 7. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Глубокая переработка органических топлив»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Новые технологии глубокой переработки нефти и газового конденсата		Разработка новых технологий, обеспечивающих достижение предельных значений глубины переработки углеводородного сырья при высоком качестве получаемых продуктов Оптимизация технологических схем и параметров нефтехимических производств для достижения максимальной энергетической эффективности и минимального негативного воздействия на окружающую среду
Эффективные технологии использования нефтяного попутного газа		Создание перспективного оборудования для переработки попутного газа, характеризующегося надежностью, компактностью, а также высоким уровнем автоматизации, для использования в отдаленных районах с суровыми климатическими условиями
Новые технологий глубокой переработки природного газа с производством жидких моторных топлив и широкого спектра химической продукции		Исследования, направленные на повышение комплексности использования ресурсов природного газа и глубины их трансформации Разработка новых технологий производства высококачественных моторных топлив из природного газа Разработка новых технологий производства химических продуктов (полимеров и т.д.) из природного газа
Перспективные технологии глубокой переработки твердых топлив с комплексным использованием минеральной части		Разработка новых технологий газификации твердых топлив с производством синтез-газа, выбор оптимальных параметров и конструкций основного оборудования Разработка новых технологий гидрогенизации и пиролиза твердых топлив, выбор оптимальных параметров и конструкций основного оборудования Разработка технологий производства широкого спектра продуктов из синтез-газа, выбор оптимальных параметров и конструкций основного оборудования Разработка оптимальных технологических схем энерготехнологических установок на основе глубокой переработки твердых топлив с производством высококачественных топлив, электроэнергии и химических продуктов Исследования, направленные на повышение комплексности использования потенциала твердых топлив за счет извлечения из минеральной части ценных компонентов и утилизации золы Формирование математических моделей для оптимизации технологических схем и параметров перспективных технологий переработки твердых топлив Исследование долгосрочных перспектив крупномасштабной переработки твердых органических топлив и оценка ее влияния на энергетические рынки



### 3.7. Эффективное аккумулирование электрической и тепловой энергии

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные технологии аккумулирования электрической и тепловой энергии для использования в электроэнергетической и теплоснабжающей системах (для «сетевых» нужд), а также индивидуальными потребителями.

**Табл. 8. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Эффективное аккумулирование электрической и тепловой энергии»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные системы накопления электрической энергии большой мощности и емкости, включая сезонные и суточные накопители		Создание электрохимических аккумуляторов большой емкости и мощности, повышенной безопасности, с большим количеством циклов «заряд/разряд» и малыми потерями энергии во время хранения
		Создание высокоэффективных суперконденсаторов
		Создание механических (кинетических) накопителей электроэнергии
		Разработка эффективных технологий аккумулирования электроэнергии на базе воздухоаккумулирующих установок, в том числе с использованием адиабатных компрессоров
		Создание сверхпроводящих индуктивных накопителей электроэнергии
Технологии аккумулирования тепловой энергии, включая сезонные и суточные накопители		Создание жидкостных систем аккумулирования тепловой энергии
		Создание твердотельных аккумуляторов тепловой энергии
		Создание систем аккумулирования тепловой энергии на основе фазовых переходов

### 3.8. Водородная энергетика

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные технологии производства, хранения и использования водорода, обеспечивающие крупномасштабный переход к водородной энергетике.

**Табл. 9. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Водородная энергетика»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные технологии крупномасштабного производства водорода		<p>Разработка новых технологий электролиза воды</p> <p>Разработка новых технологий термохимического разложения воды, в том числе с использованием тепла высокотемпературных ядерных реакторов</p> <p>Разработка новых высокоэффективных технологий крупномасштабного получения водорода на основе органических топлив</p> <p>Разработка новых технологий эффективного преобразования органических топлив в водород в составе энергоустановок с топливными элементами</p> <p>Разработка технологий получения водорода путем фотохимического разложения воды</p>
Новые технологии безопасного и эффективного хранения водорода		<p>Разработка новых технологий безопасного хранения газообразного водорода под высоким давлением</p> <p>Разработка новых криогенных технологий хранения водорода в жидком состоянии</p> <p>Разработка новых технологий хранения водорода в связанном состоянии</p>
Перспективные технологии эффективного использования водорода		<p>Создание новых типов стационарных энергоустановок на водороде с высоким уровнем энергоэффективности и безопасности</p> <p>Разработка новых технологий использования водорода для покрытия пиковых электрических нагрузок</p> <p>Разработка новых технологий безопасного и эффективного использования водорода в энергоустановках мобильных устройств</p>

### 3.9. Эффективная транспортировка топлива и энергии

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные технологии транспортировки топлива и энергии на дальние расстояния.

**Табл. 10. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Эффективная транспортировка топлива и энергии»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Перспективные технологии передачи электроэнергии на дальние расстояния		Исследования, направленные на повышение эффективности передачи электроэнергии на дальние расстояния на переменном токе



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		<p>Разработка технологий и оборудования для высокоэффективной передачи электроэнергии на дальние расстояния на постоянном токе</p> <p>Разработка технологий и оборудования для передачи электроэнергии на основе высокотемпературной сверхпроводимости</p> <p>Разработка принципиально новых технологий передачи электроэнергии на дальние расстояния</p>
Новые технологии эффективной транспортировки природного газа		<p>Разработка новых технологий эффективной передачи природного газа на большие расстояния; новые методы снижения гидравлического сопротивления трубопроводов и повышения эффективности технологий компримирования</p> <p>Разработка новых технологий производства и безопасной перевозки сжиженного природного газа наземным и морским транспортом</p>
Новые технологии безопасной и эффективной транспортировки водорода		<p>Разработка новых технологий безопасной транспортировки газообразного водорода на большие расстояния</p> <p>Разработка новых технологий безопасной транспортировки жидкого водорода на большие расстояния</p>

## 3.10. Интеллектуальные энергетические системы будущего

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- качественное повышение управляемости, надежности и эффективности функционирования основных энергетических систем: электроэнергетических, газотранспортных, централизованного теплоснабжения.

**Табл. 11. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Интеллектуальные энергетические системы будущего»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Интеллектуальные системы электро-, тепло- и газоснабжения, интеграция различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации		<p>Создание интеллектуальных систем электро-, тепло- и газоснабжения со сложными режимами функционирования и активными потребителями</p> <p>Разработка новых схемных, технологических и управленческих решений в области интеграции различных видов энергоресурсов, технологий и средств аккумулирования энергии</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		Разработка научно-технических предложений по эффективной интеграции средств распределенной электрогенерации, включая электромобили, с целью сокращения необходимых резервов мощности (пикового, системного), обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения и качества электроэнергии; разработка концепции районной виртуальной электростанции
<p>Физическая демонстрация интеллектуальных технологий и средств мониторинга, диагностики и автоматического управления оборудованием и режимами работы сложных энергетических систем в режиме реального времени</p>		<p>Разработка новых интеллектуальных технологий и средств мониторинга и диагностики состояния оборудования в энергетических системах</p> <p>Разработка новых технологий, методов и средств автоматического управления оборудованием и режимами работы сложных энергетических систем, интеллектуальных систем и технических средств диспетчеризации</p> <p>Разработка математических методов оптимизации нормальных и аварийных режимов в сложных энергетических системах</p> <p>Создание новых средств оптимального управления сложными системами централизованного теплоснабжения с распределенными теплоисточниками и регуляторами, включая математические методы и компьютерные системы оптимизации гидравлических и тепловых режимов сложных тепловых сетей</p> <p>Разработка и демонстрация принципов, методов и технологий автоматического управления конечным электропотреблением по экономическому критерию в режиме реального времени на основе интеграции электрических и информационных сетей; разработка концепции Энергетического Интернета (EnerNet)</p>
<p>Новые методы и средства обеспечения оптимального уровня надежности и безопасности интеллектуальных энергетических систем, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций</p>		<p>Разработка концепции и модельных средств обеспечения надежности и безопасности функционирования интеллектуальных энергетических систем и объектов в условиях критических и чрезвычайных ситуаций</p> <p>Разработка концепции и модельных средств управления рисками на критически важных и потенциально опасных объектах энергетической инфраструктуры в целях предотвращения кризисных и чрезвычайных ситуаций или смягчения их последствий</p> <p>Формирование математических моделей возможных аварий на различных энергетических объектах и соответствующих программных продуктов</p> <p>Разработка методик и вычислительных инструментов для оценки последствий кризисных и чрезвычайных ситуаций в энергетической инфраструктуре</p>



### 3.11. Эффективное потребление энергии

Ожидаемые результаты задельных исследований:

- новые технологии, технические средства и методы управления ими, обеспечивающие существенное снижение потерь энергии у конечных потребителей, прежде всего в энергоемких отраслях экономики (металлургии, химической промышленности, машиностроении, транспорте и т.д.), а также в жилищно-коммунальной и социальной сферах.

**Табл. 12. Перспективные направления задельных исследований в тематической области «Эффективное потребление энергии»**

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Повышение энергоэффективности энергоемких производств		<p>Разработка новых энергоэффективных технологий для основных производств в энергоемких отраслях экономики</p> <p>Разработка новых технологий, направленных на минимизацию образования отходов производства и максимизацию объемов их рекуперации</p> <p>Разработка научно-технических предложений по расширению использования перспективных электрофизических и электрохимических технологий в экономике</p> <p>Разработка научно-технических предложений по повышению энергоэффективности экономики за счет применения более долговечных материалов, предметов, устройств и оборудования</p>
Здания с минимальным энергопотреблением		<p>Разработка новых архитектурно-планировочных решений и технологий проектирования и строительства зданий с минимальным потреблением энергии</p> <p>Создание новых типов ограждающих конструкций, включая светопрозрачные, с предельно высокими теплозащитными характеристиками; использование вакуумных технологий для теплоизоляции</p> <p>Разработка новых технологий рекуперации теплоты вентиляционных выбросов с высокой энергетической эффективностью и эксплуатационными свойствами</p> <p>Создание новых высокоэффективных систем отопления и вентиляции жилых, общественных и производственных зданий</p> <p>Разработка новых методов снижения гидравлического сопротивления трубопроводных систем зданий, коррозии и образования накипи во внутридомовых трубопроводах и способов их очистки</p>
Высокоэффективное электрооборудование и системы управления им		<p>Создание новых типов электродвигателей, в том числе на основе сверхпроводящих материалов</p> <p>Разработка новых технологий и систем управления электроприводом</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		Создание высокоэффективных трансформаторов и коммутационного электрооборудования
Новые источники света и интеллектуальные системы освещения		Создание новых источников света с высокой световой отдачей Создание новых систем освещения и средств управления режимом освещения, в том числе с использованием датчиков освещенности и движения
Интеллектуальные системы управления энергопотреблением технологических процессов и зданий		Разработка интеллектуальных систем управления энергопотреблением технологических процессов Разработка интеллектуальных систем комплексного управления энергопотреблением зданий с учетом реальных климатических условий Разработка новых технологий и программно-аппаратных средств дистанционного управления производственными процессами и оборудованием, бытовыми приборами и внутридомовыми системами с использованием мобильной связи и информационных сетей в целях энергосбережения и обеспечения безопасности («умный дом»)
Интенсификация процессов тепло- и массообмена		Разработка новых способов интенсификации процессов тепло- и массообмена в энергетических и энергопотребляющих установках в целях энергосбережения

### 3.12. Моделирование перспективных энергетических технологий и систем

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- новые методы, математические модели и вычислительные средства для системного анализа перспективных энергетических технологий, оптимального управления развитием и функционированием больших систем энергетики, обеспечения необходимой надежности и безопасности их функционирования, а также анализа и прогнозирования развития мировой энергетической системы и энергетических рынков;
- своевременное выявление складывающихся глобальных технологических трендов в мировой энергетике и прогнозирование развития и крупномасштабного применения новых энергетических технологий;
- получение надежных прогнозных оценок внешнего спроса на первичные и вторичные отечественные энергоносители, позволяющих определить и своевременно скорректировать оптимальную стратегию поведения России на внешних энергетических рынках на долгосрочную перспективу.



**Табл. 13. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Моделирование перспективных энергетических технологий и систем»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Моделирование физико-химических процессов в энергоустановках		<p>Разработка новых методов и технологии термодинамического моделирования процессов превращения вещества и энергии в многокомпонентных системах, в том числе с внешними воздействиями и в экстремальных условиях</p> <p>Разработка новых методов кинетического моделирования химических процессов в энергоустановках, в том числе быстропротекающих</p> <p>Разработка новых методов моделирования процессов тепло- и массообмена в целях создания перспективных энергетических установок</p>
Моделирование и оптимизация схем и параметров перспективных энергетических установок		<p>Разработка новых методов математического моделирования и оптимизации схем и параметров перспективных энергетических и энерготехнологических установок</p> <p>Разработка новых методов математического моделирования аварийных процессов в энергетических установках</p>
Новые методы и средства системного анализа перспективных энергетических технологий		<p>Разработка новых методов и средств системного анализа перспективных энергетических технологий с учетом их жизненного цикла</p> <p>Разработка новых методов и средств учета мультипликативных эффектов при оценке долгосрочных перспектив развития энергетических технологий</p> <p>Разработка новых методов и средств учета неопределенностей и рисков при выполнении системного анализа перспективных энергетических технологий</p> <p>Разработка научно-технических предложений по развитию национальной системы прогнозирования научно-технического прогресса в энергетике</p>
Моделирование развития и функционирования энергетических систем		<p>Разработка новых методов математического моделирования функционирования и развития топливно-энергетического комплекса страны и регионов</p> <p>Разработка новых методов математического моделирования функционирования и развития электроэнергетических систем на основе оптимизационного, имитационного и мультиагентского моделирования</p> <p>Разработка новых методов математического моделирования функционирования и развития трубопроводных систем (газо-, нефте- и теплоснабжения)</p>
Моделирование мировой энергетики и мировых энергетических рынков		<p>Формирование моделей мировой энергетической системы нового поколения в оптимизационной, мультирегиональной и динамической постановке</p> <p>Формирование моделей мировых энергетических рынков (нефти и нефтепродуктов, природного газа, угля) с региональной детализацией</p>



### 3.13. Разработка прогрессивной электронной компонентной базы для энергетики

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- прогрессивная отечественная элементная электронная база силовой и слаботочной электроники для применения в интеллектуальных энергетических системах, перспективных энергетических и энергосберегающих технологиях.

**Табл. 14. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Разработка прогрессивной электронной компонентной базы для энергетики»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Силовая электроника нового поколения		Создание интеллектуальных силовых полупроводниковых приборов нового поколения для применения в энергетике
Измерительные приборы и средства автоматического регулирования нового поколения		Создание высокочувствительных измерительных приборов, включая датчики температуры, давления и расхода Создание перспективных средств автоматического регулирования для энергосберегающих технологий Создание новых технических средств обеспечения безопасной эксплуатации перспективного энергетического оборудования Создание новых измерительных приборов для мониторинга состояния генерирующего оборудования гидроэлектростанций и гидротехнических сооружений
Микропроцессорная техника нового поколения для нужд энергетики		Создание микропроцессорной техники для применения в интеллектуальных энергетических системах и приборах, системах автоматического регулирования электро-, тепло- и газопотребления
Технологии и средства дистанционного управления энергетическим оборудованием		Разработка новых технологий и программно-аппаратных средств дистанционного управления производственными процессами и бытовыми приборами с использованием мобильной связи и информационной сети Интернет Создание беспроводных интерфейсов и их элементной базы для нужд энергетики

### 3.14. Новые материалы и катализаторы для энергетики будущего

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- новые материалы для перспективных энергогенерирующих, энергопотребляющих и энерготранспортных технологий и систем нового поколения.

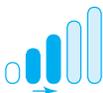


**Табл. 15. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Новые материалы и катализаторы для энергетики будущего»**

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Новые конструкционные материалы и покрытия		<p>Разработка новых конструкционных материалов и покрытий (термобарьерных, антиэрозионных, противокоррозионных), способных функционировать в условиях экстремально высоких температур и больших динамических нагрузок, для изготовления мощных газовых турбин с длительным ресурсом работы при переменных нагрузках с большими амплитудами и скоростями их изменений</p> <p>Разработка новых материалов и покрытий для лопастей ветродвигателей и технологий их обработки и применения</p> <p>Разработка новых материалов и покрытий с высокой поглощательной способностью и большим ресурсом работы для изготовления солнечных коллекторов</p> <p>Разработка новых покрытий с высокой отражательной способностью и большим ресурсом работы для изготовления концентраторов солнечного излучения</p>
Новые жаропрочные материалы		<p>Разработка новых жаропрочных материалов для работы под высоким давлением в запыленной высокотемпературной газовой среде, обеспечивающих создание теплоэнергетических установок с ультравысокими параметрами пара, использующих твердое топливо</p>
Новые радиационностойкие материалы		<p>Разработка новых материалов с высокой радиационной стойкостью, способных длительно функционировать в активной зоне ядерных реакторов и обеспечивающих ресурс надежной и безопасной эксплуатации АЭС не менее 60 лет</p> <p>Разработка новых материалов, способных длительно функционировать в активной зоне высокотемпературного газоохлаждаемого реактора</p> <p>Разработка новых материалов для термоядерных реакторов</p>
Новые токопроводящие и электроизоляционные материалы		<p>Разработка новых токопроводящих и электроизоляционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами для перспективных электроэнергетических систем и электрооборудования</p> <p>Разработка сверхпроводящих материалов, пригодных для применения в электроэнергетике в промышленных масштабах</p> <p>Разработка новых материалов для фотопреобразователей</p>
Теплозащитные и теплоизоляционные материалы		<p>Разработка новых теплозащитных и теплоизоляционных материалов с высоким термическим сопротивлением и улучшенными эксплуатационными характеристиками для использования в перспективных энергоустановках и в целях энергосбережения</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Новые функциональные покрытия трубопроводов		Разработка новых функциональных покрытий с низкой адгезией к солям жесткости, малой шероховатостью и высокими антикоррозионными свойствами для увеличения срока службы тепловых сетей и снижения их гидравлического сопротивления
Новые мембранные материалы с заданным размером пор		Разработка новых мембранных материалов с контролируемым размером пор для перспективных процессов разделения газов и жидкостей  Разработка новых мембранных материалов и проводящих структур для электрохимических генераторов и аккумуляторов
Новые типы катализаторов		Поиск новых катализаторов, характеризующихся высокой селективностью, долговечностью и приемлемой стоимостью, для увеличения глубины переработки углеводородного сырья и повышения качества производимых моторных топлив  Создание новых типов катализаторов для производства моторных топлив и широкого спектра химических продуктов на основе синтез-газа

## Список литературы

*Апокин А.Ю., Белоусов Д.Р.* (2009) Сценарии развития мировой и российской экономики как основа для научно-технологического прогнозирования // Форсайт. Т. 3. № 3. С. 12–29.

*Ван Рай В.* (2012) Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 60–73.

*Выгон Г. и др.* (2013) Нетрадиционная нефть: станет ли Бажен вторым Баккеном? Энергетический центр Московской школы управления Сколково. Октябрь 2013.

*Гохберг Л.М., Кузнецова Т.Е.* (2011) Стратегия-2020. Новые контуры российской инновационной политики // Форсайт. Т. 5. № 4. С. 8–31.

*Доманьский Р.* (2010) Экономическая география: динамический аспект. М.: Новый хронограф.

*Дуб А.В., Шашнов С.А.* (2007) Инновационные приоритеты для энергетического машиностроения: опыт отраслевого Форсайта // Форсайт. № 3 (3). С. 4–11.

*Зайончковская Ж.А.* (2012) Федеральные округа на миграционной карте России // Регион: экономика и социология. № 3 (75). С. 3–18.

ИНЭИ РАН / РЭА (2012) Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года. М.: ИНЭИ РАН, РЭА.

ИНЭИ РАН / АЦ при Правительстве Российской Федерации (2013) Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. М.: ИНЭИ РАН, Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации.

*Караганов В.В., Кульпик Л.Г., Мурзин Р.Р., Симонов Ю.А.* (2006) Шельф России: прогноз добычи углеводородов до 2030 года и инфраструктура технико-технологического обеспечения // Нефтяное хозяйство. № 6. С. 76–78.

*Кристенсен К.* (2004) Дилемма инноватора. Как из-за новых технологий погибают сильные компании. М.: Альпина Паблишер.

Лукойл (2013) Основные тенденции развития глобальных рынков нефти и газа до 2025 г.

Минобрнауки России (2008а) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 года).

Минобрнауки России (2008б) Разработка прогноза долгосрочного научно-технологического развития ключевых секторов российской экономики на период до 2030 года.

НИУ ВШЭ (2013) Долгосрочные приоритеты прикладной науки в России. М.: НИУ ВШЭ.

Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации до 2030 г. Утверждены Указом Президента Российской Федерации. <http://президент.рф/news/15177> (дата обращения: 17.02.2014).



- Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом Российской Федерации 18.09.2008 г. (Пр – 1969). <http://scrf.gov.ru/documents/15/98.html> (дата обращения: 19.02.2014).
- Перес К.* (2011) Технологические революции и финансовый капитал. Динамика пузырей и периодов процветания. М.: Дело.
- Перечень критических технологий Российской Федерации. Утвержден Указом Президента Российской Федерации от 7.07.2011 г. № 899.
- Перлова Е.В.* (2010) Коммерчески значимые нетрадиционные источники газа – мировой опыт освоения и перспективы для России // Территория Нефтегаз. № 11. С. 46–51.
- Порфирьев Б.* (2013) «Зеленая экономика»: реалии, перспективы и пределы роста. Московский Центр Карнеги. Апрель 2013.
- Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию (2012) Официальный сайт Администрации Президента Российской Федерации. 12 декабря. <http://kremlin.ru/news/17118> (дата обращения: 25.01.2014).
- Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 7.07.2011 г. № 899.
- Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Утвержден Председателем Правительства Российской Федерации (№ ДМ-П8-5 от 3 января 2014 г.).
- Росстат (2011) Статистический сборник «Инвестиции в России». М.: Росстат.
- Совещание с вице-премьерами: о прогнозе научно-технологического развития России на период до 2030 года; о кредитных рейтингах регионов (2014) Официальный сайт Правительства Российской Федерации. 20 января. [http://government.ru/vice\\_news/9809](http://government.ru/vice_news/9809) (дата обращения: 14.02.2014).
- Соколов А.В.* (2007) Метод критических технологий // Форсайт. Т. 1. № 4. С. 64–74.
- Соколов А.В.* (2009) Будущее науки и технологий: результаты исследования Дельфи // Форсайт. Т. 3. № 3. С. 40–58.
- Соколов А.В., Чулок А.А.* (2012) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 года: ключевые особенности и первые результаты // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 12–25.
- Чулок А.А.* (2009) Прогноз перспектив научно-технологического развития ключевых секторов российской экономики: будущие задачи // Форсайт. Т. 3. № 3. С. 30–36.
- ACEEE (2012) The 2012 State Energy Efficiency Scorecard. American Council for an Energy-Efficient Economy. October 3. <http://www.aceee.org/research-report/e12c> (дата обращения: 17.02.2014).
- Amanatidou E.* (2011) Grand challenges – a new framework for foresight evaluation. EU-SPRI conference papers. Manchester. 20–22 September.
- APEC (2013) APEC Energy Demand and Supply Outlook 2013 by APERC: The Role of Natural Gas in Energy Balance of APEC Economies for the period till 2035. Moscow: 11th Russian Petroleum & Gas Congress / RPGC 2013 27 June 2013. [http://itemsk.blob.core.windows.net/cmsroot/www\\_mioge/files/4c/4c69a0a5-2e5f-4cd1-8659-48aa5904b106.pdf](http://itemsk.blob.core.windows.net/cmsroot/www_mioge/files/4c/4c69a0a5-2e5f-4cd1-8659-48aa5904b106.pdf) (дата обращения: 18.02.2014).
- ATSE (2008) Energy and Nanotechnologies: Strategy for Australia's Future. Parkville: The Australian Academy of Technological Sciences and Engineering.
- Battelle (2011) Battelle's 2012 Global R&D Funding Forecast. [http://battelle.org/docs/default-document-library/2012\\_global\\_forecast.pdf](http://battelle.org/docs/default-document-library/2012_global_forecast.pdf) (дата обращения: 10.02.2014).
- Bhagwati J.* (2004) In Defense of Globalization. Oxford: Oxford University Press.



- Bloomberg New Energy Finance (2013) Global Trends in Clean Energy Investments. [http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/BNEF\\_presentation\\_CEM4.pdf](http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/BNEF_presentation_CEM4.pdf) (дата обращения: 19.02.2014).
- BP (2012a) BP Energy Outlook 2030. London: BP.
- BP (2012b) Building a Stronger, Safer BP. Sustainability Review 2011. London: BP.
- BP (2013) Statistical Review of the World Energy. London: BP.
- Caesar W., Riese J., Seitz T.* (2007) Betting on Biofuels // McKinsey Quarterly. № 2. P. 53–63.
- Cagnin C., Amanatidou E., Keenan M.* (2012) Orienting European Innovation Systems towards Grand Challenges and the Roles that FTA Can Play // Science and Public Policy. Vol. 39 (2). P. 140–152.
- Calof J.L.* (2008) Competitive Intelligence and the Management Accountability Framework. Optimum Online // The Journal of Public Sector Management. № 37 (4). P. 31–36.
- Cater Communications (2013) Powering Up America. The Revolution Began Yesterday. <http://poweringupamerica.com/site/wp-content/uploads/2013/07/Powering-Up-America-small2.pdf> (дата обращения: 27.02.2014).
- Ceder A.* (2007) Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice. Oxford: Elsevier.
- EU-Russia Energy Dialogue (2011) Energy Forecasts and Scenarios 2009–2010 Research. Final Report. Moscow: Publishing House «Economica, Stroitelstvo, Transport».
- European Commission (2006) Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of Materials, Health & Medical Systems, Energy. Roma: AIRI / Nanotec IT.
- European Commission (2010a) Concentrating Solar Power: From Research to Implementation. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2010b) Critical Raw Materials for EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2010c) European Forward Looking Activities. EU Research in Foresight and Forecast. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2010d) Facing the future: time for the EU to meet global challenges. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2010e) Strategic Research Agenda 2010 Update: Innovation Driving Sustainable Biofuels. European Biofuels Technology Platform. [http://www.biofuelstp.eu/sras-dd/SRA\\_2010\\_update\\_web.pdf](http://www.biofuelstp.eu/sras-dd/SRA_2010_update_web.pdf) (дата обращения: 13.02.2013).
- European Commission (2011a) A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology. European Photovoltaic Technology Platform. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2011b) Infrastructure for Alternative Fuels. Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels. [http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/future-transport-fuels\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/future-transport-fuels_en.htm) (дата обращения: 20.02.2014).
- European Parliament / European Council (2009) Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union. 5.6.2009.
- European Parliament / European Council (2012) Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official Journal of the European Union. 14.11.2012.



European Parliament / European Council (2012) Directive 2012/33/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 amending Council Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels.

European Parliament / European Council (2013) Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels (COM(2011)0439 – C7-0199/2011 – 2011/0190(COD)).

ExxonMobil (2013) The Outlook for Energy: A View to 2040. <http://www.exxonmobil.com/energyoutlook> (дата обращения: 17.02.2014).

*Farrell D., Nyquist S., Rogers M.* (2007) Curbing the Growth of Global Energy Demand // McKinsey Quarterly. № 1. P. 21–55.

Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2013) Global Trends in Renewable Energy Investment 2013. Frankfurt am Main: Frankfurt School of Finance & Management.

Foresight Horizon Scanning Centre / Government Office for Science (2010) Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s. London. <http://www.bis.gov.uk/foresight> (дата обращения: 19.02.2014).

*Georgiou L., Cassingena Harper J., Keenan M., Miles I., Popper R.* (eds.) (2008) The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Cheltenham: Edward Elgar.

*Haegeman K., Scapolo F., Ricci A., Marinelli E., Sokolov A.* (2013) Quantitative and qualitative approaches in FTA: from combination to integration? // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 80. P. 386–397.

JAXA (2005) JAXA Vision «JAXA 2025». Токио: Japan Aerospace Exploration Agency. [http://www.jaxa.jp/about/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/about/index_e.html) (дата обращения: 18.02.2014).

*Komlev S.* (2012) The Oil-to-Gas Dash in the Transportation Sector – Revolutionary Implications for Europe. View from Gazprom Export. 5<sup>th</sup> German – Russian “Rohstoff-Konferenz”. April 12, 2012, Nurnberg.

*Loveridge D., Georgiou L., Nedeva M.* (1995) United Kingdom Foresight Programme. PREST. University of Manchester.

*Lu M., Tegart G.* (2008) Energy and Nanotechnologies: Strategies for Australia’s Future. Melbourne: Australian Academy of Technological Sciences and Engineering.

McKinsey Global Institute (2013) Resource Revolution: Tracking global commodity markets. Trends survey 2013.

*Meissner D., Gokhberg L., Sokolov A.* (eds.) (2013) Science, Technology and Innovation Policy for the Future. Potentials and Limits of Foresight Studies. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer.

Ministry of Industry, Tourism and Commerce of Spain (2010) Spain’s National Renewable Energy Action Plan. 2011–2010.

NIC (2012) Global Trends 2030: Alternative Worlds. December 2012. The National Intelligence Council.

NISTEP (2005) The 8th Science and Technology Foresight Survey: Delphi Analysis. NISTEP report № 97. Токио: NISTEP.

NISTEP (2010a) Contribution of Science and Technology to Future Society. Токио: NISTEP. [http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep140e/pdf/rep140e\\_overview.pdf](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep140e/pdf/rep140e_overview.pdf) (дата обращения: 18.02.2014).

NISTEP (2010b) Future Scenarios Opened up by Science and Technology (Summary). Токио: NISTEP. <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/676/1/NISTEP-NR141-SummaryE.pdf> (дата обращения: 18.02.2014).



- NISTEP (2010c) The 9th Science and Technology Foresight – Contribution of Science and Technology to Future Society. NISTEP report № 140. Tokyo: NISTEP.
- NREL USA (2011) Renewable Electricity Futures Study. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- NSTC (2011) The National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Washington: National Science and Technology Council. <http://www.nano.gov/node/581> (дата обращения: 05.11.2012).
- OECD (2006) Infrastructure to 2030. Telecom, Land Transport, Water and Electricity. Paris: OECD. [http://www.oecd-ilibrary.org/economics/infrastructure-to-2030\\_9789264023994-en](http://www.oecd-ilibrary.org/economics/infrastructure-to-2030_9789264023994-en) (дата обращения: 20.02.2013).
- OECD (2008a) Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050. Paris: OECD.
- OECD (2009) The Bioeconomy to 2030. Designing a policy agenda. Paris: OECD. [http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-bioeconomy-to-2030\\_9789264056886-en](http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-bioeconomy-to-2030_9789264056886-en) (дата обращения: 20.01.2014).
- OECD (2010) The OECD Innovation Strategy. Getting a Head Start on Tomorrow. Paris: OECD.
- OECD (2011a) OECD Green Growth Studies: Energy. Paris: OECD.
- OECD (2011b) OECD Reviews of Innovation Policy: Russian Federation. Paris: OECD.
- OECD (2012a) OECD Innovation Strategy. Paris: OECD. <http://www.oecd.org/site/innovation-strategy> (дата обращения: 12.12.2014).
- OECD (2012b) Uranium 2011: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Issy-les-Moulineaux: OECD Nuclear Energy Agency.
- OECD (2012c) Looking to 2060: Long-term global growth prospects. OECD Economic Policy Papers. № 3.
- OECD (2012d) Nuclear Energy Today. Second Edition. Issy-les-Moulineaux: OECD Nuclear Energy Agency.
- OECD/IEA (2003) Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future. Paris. [http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-to-2050-scenarios-for-a-sustainable-future\\_9789264019058-en](http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-to-2050-scenarios-for-a-sustainable-future_9789264019058-en) (дата обращения: 20.02.2014). Paris: IEA.
- OECD/IEA (2009) Technology Roadmap. Wind Energy. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2010) Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios and Strategies to 2050. Paris: IEA. [http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-technology-perspectives-2010\\_energy\\_tech-2010-en](http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-technology-perspectives-2010_energy_tech-2010-en) (дата обращения: 20.02.2013).
- OECD/IEA (2011a) OECD Green Growth Studies: Energy. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2011b) Technology roadmap. Biofuels for transport. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2011c) Technology Roadmap: Smart Grids. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2012a) Energy Technology Perspective 2012: Pathways to a Clean Energy System. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2012b) Golden Rules for a Golden Age of Gas: Special Report on Unconventional Gas. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2012c) Tracking Clean Energy Progress. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2012d) World Energy Outlook 2012. Paris: IEA. <http://www.worldenergyoutlook.org/pressmedia/recentpresentations/PresentationWEO2012launch.pdf> (дата обращения: 25.01.2014).
- OECD/IEA (2013a) Energy efficiency market report 2013. Market trends and medium term prospects. Paris: IEA.
- OECD/IEA (2013b) World Energy Outlook 2013. Paris: IEA.



- OECD/IEA (2013c) Tracking Clean Energy Progress 2013. IEA Input to the Clean Energy Ministerial. Paris: IEA. [http://www.iea.org/publications/TCEP\\_web.pdf](http://www.iea.org/publications/TCEP_web.pdf) (дата обращения: 11.10.2013).
- Oikonomou V., Becchis F., Stegc L., Russolillo D.* (2009) Energy saving and energy efficiency concepts for policymaking // *Energy Policy*. Vol. 37. P. 4787–4796.
- OPEC (2011) World Oil Outlook. Vienna: Organization of the Petroleum Exporting Countries.
- RAND (2006) The Global Technology Revolution 2020: In-Depth Analysis. Technical Report. Santa Monica, Arlington, Pittsburg: RAND Corporation.
- Resnik Institute (2011) Critical Materials for Sustainable Energy Application. Pasadena, CA: California Institute of Technology.
- Rodrik D.* (2011) The Globalization Paradox. New York, London: Norton & Company, Inc.
- Roggers R.E., Ramurthy M., Rodvelt G.* (2007) Coalbed Methane: Principles and Practices. Starkville: Oktibbeha Publishing.
- Shell (2001) Exploring the Future: Energy Needs, Choices and Possibilities. Scenarios to 2050. Hague: Shell.
- Shell (2008) Shell Energy Scenarios to 2050. Hague: Shell.
- Sieminski A.* (2013) Outlook for Shale Gas and Tight Oil Development in the U.S. FLAME Natural Gas & LNG Conference. Amsterdam, 13 March 2013.
- Sokolova A., Makarova E.* (2013) Integrated Framework for Evaluation of National Foresight Studies // *Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies* / Eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer. P. 11–30.
- Statoil (2013) Energy Perspectives 2013. Long-term macro and market outlook.
- Stiglitz J.E.* (2007) Making Globalization Work. New York: Norton.
- Technology Strategy Board (2011) Concept to Commercialisation. A Strategy for Business Innovation, 2011–2015. Swindon: Technology Strategy Board.
- The White House (2012) National Bioeconomy Blueprint. Washington.
- U.S. Department of Energy (2002) National Hydrogen Energy Roadmap. Washington: U.S. DOE.
- U.S. Department of Energy (2007) Productive Nanosystems. A Technology Roadmap. Washington: Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech.
- U.S. Department of Energy / U.S. Department of Homeland Security (2006) Roadmap to Secure Control Systems in the Energy Sector. Columbia: Energetics Inc.
- U.S. Department of Energy / U.S. Energy Information Administration (2012) Annual Energy Outlook 2012 with Projections to 2035. DOE/EIA-0383 (2012).
- U.S. Department of Energy / U.S. Energy Information Administration (2013) Annual Energy Outlook 2013. Washington: U.S. DOE.
- U.S. Nuclear Energy Research Advisory Committee / Generation IV International Forum (2002) A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. <http://www.gen-4.org/PDFs/GenIVRoadmap.pdf> (дата обращения: 3.11.2012).
- UCTE (2007) UCTE System Adequacy Forecast 2007–2020. Brussels: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity.
- UNIDO (2005) UNIDO Technology Foresight Manual. Vienna: UNIDO.
- Wiedmann O. et al.* (2013) The material footprint of nations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. August 1. Early edition. <http://www.pnas.org/content/early/2013/08/28/1220362110.abstract> (дата обращения: 12.02.2014).
- World Energy Council (2013) World Energy Resources 2013 Survey. London: World Energy Council.

**Прогноз научно-технологического  
развития России: 2030.  
Энергоэффективность и энергосбережение**

Редактор *М.Ю. Соколова*

Художник *П.А. Шелегеда*

Компьютерный макет:

*О.Г. Егин, В.В. Пучков*

Подписано в печать 04.03.2014.

Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печ. л. 6.5.

Тираж 350 экз. Заказ № 174.

Отпечатано в ООО «Верже-РА»

127055, Москва, Новослободская ул., 31, стр. 4–11

По вопросам приобретения книги обращаться  
в Институт статистических исследований  
и экономики знаний НИУ ВШЭ

101000, Москва, Мясницкая ул., 20

Тел.: 8 (495) 621-28-73, факс: 8 (495) 625-03-67

<http://issek.hse.ru>

E-mail: [issek@hse.ru](mailto:issek@hse.ru)