

ISSN 2222-517X

Ежемесячное обозрение

Август-сентябрь, 2012 (№16)

НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ НАУКИ РАН

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА КИТАЯ: КОНТУРЫ БУДУЩЕГО



www.issras.ru/global_science_review

Наука за рубежом

№ 16, август-сентябрь 2012

Ежемесячное обозрение

Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

Рубрика **«Энергетика и транспорт»**

Обзор выполнил **Н. А. Трофимов**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Руководитель проекта **Л. К. Пипия**

Редактор **О. Е. Осипова**

Верстка: **Н. В. Шашкова**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Состояние и перспективы развития ветроэнергетики в Китае	4
2. Исследования, разработки и демонстрационные технологии для ветроэнергетики	8
ПРИЛОЖЕНИЕ	13
Рис. 1. Суммарная мощность ветроэнергетики в Китае	13
Рис. 2. Оценка поступательного наращивания мощности ветроэнергетики в Китае	13
Рис. 3. Распределение территорий с потенциалом для развития ветроэнергетики	14
Рис. 4. Распределение среднегодовой плотности ветряной энергии в офшорных районах	15
Рис. 5. Основные направления технологического развития ветроэнергетики в Китае	16
Табл. Оценочные объемы начального инвестирования, затраты на эксплуатацию и «зеленые» тарифы для ветряных электростанций	17

Продолжающееся экономическое и промышленное развитие и прирост глобального населения сопровождается ежегодным сокращением ископаемых энергоносителей примерно на 15 млрд т в пересчете на каменный уголь. С учетом прогноза дальнейшего роста энергопотребления соперничество за ограниченные источники ископаемых энергоносителей в ближайшем будущем может только усилиться. В то же время изменение климата в результате сжигания природного топлива становится все более ощутимым. Правительство Китая, приняв решение активно развивать ветроэнергетику, надеется уменьшить отрицательное воздействие на природу, упрочить национальную энергетическую безопасность и создать благоприятные возможности для роста занятости населения в технологических секторах экономики.

1. Состояние и перспективы развития ветроэнергетики в Китае

Развитию ветроэнергетики в Китае в перспективе до 2050 г. посвящено специальное издание Международного энергетического агентства ОЭСР (IEA) [1]. С тех пор как 30 лет назад Китай перешел на рельсы экономического развития по моделям индустриализации развитых стран, проведя серию реформ и контролируруемую либерализацию экономики, энергетическая отрасль страны претерпела ряд существенных изменений. Использование каменного угля в качестве основного источника энергии кроме истощения запасов самого угля привело к серьезным последствиям для окружающей среды. Если в 1980 г. воздействию кислотных дождей подвергалась лишь десятая часть территории страны, то сейчас это происходит повсеместно.

Начиная с 2006 г. китайское правительство обратило пристальное внимание на ветряные электростанции, которые при грамотном проектировании энергосетей являются практически неистощимым источником энергии. Ветроэнергетика, как наиболее успешная с коммерческой точки

зрения и технологически доступная отрасль возобновляемой энергетики, располагает значительным потенциалом для минимизации негативных последствий промышленного роста в Китае. Уже в 2010 г. суммарная мощность подключенных к национальной энергосети ветряных электростанций достигла более 30 ГВт (эл.) (рис. 1), в то время как с учетом обособленных электростанций этот показатель составил порядка 40 ГВт. Четыре китайских производителя ветряных турбин вошли в десятку глобальных лидеров в данном секторе рынка. К 2020 г. суммарная мощность ветроэнергетики Китая прогнозируется на уровне 200 ГВт, а к 2050 г. она составит около 1000 ГВт. При этом в период с 2030 по 2050 г. потребуются вывести из эксплуатации устаревшие и выработавшие ресурс ветрогенераторы с суммарной мощностью порядка 400 ГВт (рис. 2). Для реализации поставленных задач китайское правительство намерено обеспечить инвестиции в размере около 12 трлн юаней и создать 720 тыс. новых рабочих мест. При этом ежегодные выбросы CO₂ сократятся на 1,5 млрд т.

Энергетические потребности Китая к 2020 г. оцениваются приблизительно в 4,5–5 млрд т условного топлива в угольном эквиваленте (далее – м.т.у.э.)¹. К 2030 г. они составят порядка 5,5–6 м.т.у.э.², а к 2050 г. – 6,5 м.т.у.э.³

Китай располагает значительными энергетическими ресурсами, но в пересчете на душу населения эти ресурсы не столь велики. Если принять во внимание ограниченность ресурсов высококачественного сырья⁴ и их неравномерное распределение по территории страны, а также сложности, связанные с разработкой месторождений, то общая картина представляется еще более непростой. Зачастую на первый план выходят трудности, связанные с широкомасштабной и протяженной транспортировкой энергоресурсов (прежде всего каменного угля) и передачей электроэнергии из северных регионов в южные и из западных в восточные.

¹ Соответствует приблизительно 3,15–3,5 млрд т условного топлива в пересчете на нефть.

² 3,85–4,2 млрд т условного топлива в пересчете на нефть.

³ 4,55 млрд т условного топлива в пересчете на нефть.

⁴ Запасы природного газа и нефти в Китае ограничены, однако имеется потенциал для разработки месторождений горючего сланца, угольного метана и некоторых других нетрадиционных ископаемых энергоносителей.

В настоящее время китайское правительство выбрало стратегию планомерного развития так называемой низкоуглеродной энергетики⁵. Предполагается, что к 2015 г. стране удастся сократить энергопотребление и выбросы CO₂ в расчете на единицу ВВП на 16 и 17% соответственно. Доля неископаемых энергоносителей в первичном энергопотреблении вырастет до 11,4%, а к 2020 г. она составит 15%. По заявлениям китайского руководства, национальная стратегия в области энергетики будет строиться на внутренних источниках энергии с особым акцентом на защите окружающей среды, диверсификации и освоении новых источников энергии, включая энергию ветра.

Развитие ветроэнергетики в Китае можно условно подразделить на четыре стадии. На начальной стадии – демонстрационной (1986–1993 гг.) была доказана технологическая осуществимость и экономическая эффективность этого вида возобновляемой энергетики на примере нескольких демонстрационных ветряных электростанций малой мощности. На ранней стадии индустриализации (1994–2003 гг.) были введены пробные регулирующие меры, направленные, в частности, на льготную тарификацию потребителей ветряной электроэнергии и частичное возмещение затрат на строительство и эксплуатацию электростанций. Третья стадия (2004–2007 гг.) связана с расширением внутреннего производства ветряных электростанций и постепенным укрупнением проектных мощностей. Регулирующие меры на этой стадии были существенным образом доработаны. Среди внедренных на этой стадии механизмов государственного регулирования можно отметить концессионные программы для инвесторов, гибкое ценообразование в зависимости от конкретных условий проекта, систему фиксированных льготных тарифов (так называемых зеленых тарифов⁶), общие обязательства в рамках Закона о возобновляемых источниках энергии.

⁵ От англ. low-carbon energy – энергетика с низкими выбросами углекислого газа.

⁶ «Зеленые» тарифы (feed-in tariffs) – регулируемые государством тарифы закупки на уровне национальной сети электроэнергии, полученной из возобновляемых источников. Как правило, данный механизм регулирования предполагает не только возмещение части затрат поставщиков электроэнергии, но и гарантированное подключение к сети и заключение долгосрочных контрактов на поставку энергии. Например, «зеленые» тарифы на севере Китая колеблются в пределах 0,51–0,54 юаня/кВт·ч, что на 0,25 юаня/кВт·ч выше, чем для угольной энергетики.

С 2008 г. началась стадия широкомасштабного развития ветряной энергетики. За это время появилась тендерная система присуждения концессий на разработку «ветряных месторождений», определены бенчмаркинг-цены для наземных электростанций в зависимости от ветряных зон, внесены изменения в Закон о возобновляемых источниках энергии. В дополнение запущен демонстрационный проект офшорной электростанции и проведена тщательная разведка ветряных ресурсов в рамках разработки проекта строительства семи электростанций мощностью 10 ГВт и выше. Одновременно началось государственное планирование интеграции ветряной энергетики в национальную энергосеть.

В результате исследований, проведенных Китайским национальным спутниковым метеорологическим центром, с использованием более 400 ветряных измерительных башен высотой 70, 100 и 120 метров и методов компьютерной симуляции и моделирования на базе географической информационной системы (ГИС) были выявлены «ветряные месторождения» с оценочным потенциалом для промышленной эксплуатации в пределах 2–3,4 ТВт (рис. 3). В офшорных регионах Китая с диапазоном глубин от 5 до 50 м суммарный потенциал ветряной энергетики оценивается в 500 ГВт (рис. 4).

Инвестиции в ветроэнергетику в настоящее время составляют 8000–9000 юаней/кВт для наземных станций и 14 000–19 000 юаней/кВт для офшорных станций. Эксперты рассчитывают, что к 2020 г. затраты на возведение наземных и офшорных ветрогенераторов сократятся до 7500 и 14 000 юаней/кВт, к 2030 г. – до 7200 и 12 000 юаней/кВт, а к 2050 г. – до 7000 и 10 000 юаней/кВт соответственно (таблица). Поскольку затраты на эксплуатацию ветряных электростанций пока еще недостаточно точно оценены вследствие сравнительно недавно начавшегося промышленного развития ветроэнергетики, в таблице приведены приблизительные показатели. Начальные инвестиции на возведение ветряных электростанций вдали от берега⁷ будут значительно выше, что во многом связано с распространением практики их размещения на плавучих платформах.

⁷ Так называемые шельфовые ветрогенераторы (far offshore wind farms), которые обычно располагаются на глубоководных акваториях (глубиной более 30 м) далее 50 км от берега.

2. Исследования, разработки и демонстрационные технологии для ветроэнергетики

Исследования в области ветроэнергетики охватывают следующие направления: а) совершенствование баз данных и оценка имеющихся ресурсов; б) разработка ветряных турбин; в) разработка ключевых компонентов и материалов; г) дизайн ветряных электростанций и интеграция в национальную энергосеть (рис. 5).

Совершенствование баз данных и оценка имеющихся ресурсов

Технические стандарты мониторинга и оценки ресурсов ветряной энергетики, по мнению экспертов, нуждаются в существенной доработке. Необходимо внедрение новых методов измерений и геофизических наблюдений для расширения и систематизации существующих баз данных. По всей видимости, потребуется утвердить единые стандарты для включения множества дополнительных климатических параметров, например показателей градиента температуры, частоты молний, наличия взвеси пыли и песка в воздухе, а также наледи и снега.

Кроме того, должны быть определены совместимые стандарты для численных методов обработки и анализа данных, относящихся к ресурсам ветроэнергетики, с акцентом на нормализованные методы, компьютерную симуляцию, удаленное (дистанционное) сенсорное наблюдение и измерение слабых эффектов (*weak effect measurement*). Эксперты также отмечают необходимость поощрения исследований, направленных на разведку высотных⁸ ветров.

Разработка ветряных турбин

При поддержке десяти крупнейших национальных производителей в Китае ведутся активные разработки наземных турбин мощностью от 2,5 до 3,6 МВт, офшорных турбин мощностью 5 МВт и прототипов сверхбольших систем (для глубоководных офшорных зон) мощностью 10 МВт.

⁸ Как правило, находящихся на высоте более 300 м.

До 2015 г. основные усилия инженеров будут нацелены на повышение эффективности работы асинхронных генераторов с двойным питанием. Наряду с этим будут проводиться испытания бесперебойной работы установок (fault ride-through) в случае различного рода сбоев и помех, оперативного устранения неполадок, поддержания реактивной мощности (reactive power).

В период с 2015 по 2020 г. предполагается разработать новые системы контроля работы ветряных турбин, а также ожидается постепенное внедрение технологий для обеспечения соответствия ветряных установок стандартам национальной транспортной энергосети. Активная интеграция ветроэнергетики в национальную энергосеть будет продолжена с использованием более зрелых технологий после 2020 г. При разработке офшорных турбин основное внимание будет сосредоточено на безотказности в работе, легкости транспортировки, установки и сокращении затрат на последующее техническое обслуживание. Одновременно предстоит совершенствовать системы защиты от тайфунов.

Разработка ключевых компонентов и материалов

По мере увеличения размеров ветряных турбин потребуются разработки усовершенствованных компонентов, включая лопасти, механические системы, системы контроля (в том числе в режиме реального времени) и управления, инверторы с высокой емкостью. Одновременно возникнет необходимость в обеспечении производителей ветротурбин различными исходными материалами, включая сталь, медь, оптоволокно, углеродные волокна и композиты, магнитные материалы.

Лопасты

В ближайшие 10 лет предстоит разработать лопасти с большей длиной, меньшей удельной массой, невысоким уровнем шума. Важная роль здесь отводится новым материалам, включая углеродное волокно, стекловолокно и стеклопластик. Для офшорного применения потребуются лопасти с более высокой окружной скоростью концевой части (120 м/с). Помимо этого необходимо обеспечить удобство и легкость их транспортировки.

Генераторы

Ожидается постепенное снижение массы генераторов и разработка синхронных генераторов на постоянных магнитах⁹ с использованием высокотемпературных сверхпроводников. Еще одним направлением технологического развития экспертов представляется разработка высоковольтных генераторов для турбин мощностью более 5 МВт.

Инверторы/конверторы

Инверторы и модульные конверторы с увеличенной емкостью появятся в ближайшее время. Развитие ветряной энергетики приведет к их широкому распространению. Поэтому потребуются дополнительные исследования в целях предупреждения негативного воздействия возрастающего количества инверторов на энергосеть.

Углеродные волокна и композиты

По существующим оценкам, в Китае спрос на углеродное волокно для ветрогенераторов в 2020 г. составит порядка 5300 т, в 2030 г. – 10 200 т и в 2050 г. – 36 700 т. По имеющимся расчетам, китайская промышленность не сможет самостоятельно удовлетворить растущий спрос на углеродное волокно и композиты. Потребуется дополнительные исследования и разработки для ускорения собственного производства исходных углеродных материалов, а также меры по обеспечению их поставок из-за рубежа.

Магниты

На каждый мегаватт выходной мощности турбины приходится около 0,75–0,8 т магнитов на базе редкоземельных сплавов (NdFeB). В 2009 г. спрос на эти материалы составлял порядка 1920 т, а к 2050 г. он вырастет до 23 800 т в год. Исследования будут прежде всего касаться сокращения издержек, связанных с производством постоянных магнитов, в то же время предвидится постепенное увеличение их стоимости.

Дизайн ветряных электростанций

Технология наземных ветряных электростанций является достаточно зрелой. Вместе с тем потребуются дополнительные усилия, направленные

⁹ От англ. Permanent magnet synchronous generator (PMG).

на постепенную адаптацию технологии к условиям сложной местности, например холмистых и гористых ландшафтов. Существует потребность в усовершенствовании пакетов программного обеспечения для моделирования и дизайна проектов электростанций. По оценкам экспертов, эти задачи будут решены к 2020 г.

Оценивая перспективы развития офшорных электростанций, специалисты отмечают, что существует значительный потенциал для проведения исследований, разработок и демонстрационных проектов на долгосрочную перспективу. Все основные технические трудности, связанные с электростанциями, расположенными в литоральной зоне, будут преодолены к 2015 г. Разработка офшорных электростанций на мелководье (глубиной до 30 м) продолжится до 2020 г. Далее начнется постепенное освоение технологии ветряных турбин на плавающих платформах, способных работать в водах глубиной от 50 до 200 м.

Отдельным направлением исследований и разработок в области офшорной ветроэнергетики станет развитие и планирование инфраструктуры и логистики портов, а также создание специальных транспортных судов для перевозки и монтажа ветряных турбин. В период начала освоения мелководья с 2016 по 2020 г. для транспортировки и установки ветряных турбин потребуются дополнительные транспортные средства – амфибии и специальные крупные контейнерные суда. После 2020 г. для освоения более глубоководных зон возрастет спрос на традиционные транспортные и инженерные морские суда и плавучие краны.

Интеграция электростанций в национальную энергосеть

К основным техническим характеристикам турбин, важным для интеграции в энергосеть, относится их способность контролировать удельную активную и реактивную мощность, поддерживать генераторный режим при падении напряжения сети (LVRT), осуществлять частотный контроль и компенсировать помехи. К 2030 г., когда получит широкое распространение технология крупномасштабного хранения энергии, ветряные электростанции, по ожиданиям экспертов, смогут поставлять энергию потребителям напрямую через единую распределенную гибридную энергосеть. По-

сле 2020 г. будут востребованы исследования и разработки с целью более тщательного, точного и долгосрочного (месяцы и годы) прогнозирования поступающей в энергосеть ветряной энергии.

Для передачи электроэнергии на большие расстояния потребуются разработки новых систем гибкой высоковольтной DC-передачи (HVDC), сверхпроводящих и низкочастотных технологий. Однако практическое внедрение этих технологий начнется, вероятнее всего, после 2020 г. До этого основные усилия будут сосредоточены на передовых технологиях компенсации реактивной мощности и автоматическом управлении напряжением (AVC) и тиристорно-управляемой продольной компенсации (TCSC).

Непостоянство ветра как источника энергии, а также широкомасштабное включение ветряной энергетики в энергосеть станет побуждающим мотивом для разработки более универсальных распределенных, адаптивных и автономных технологий диспетчеризации ресурсов энергосети (технологии так называемой умной энергосети). Это позволит более гибким образом подключать к национальной сети источники ветроэнергетики, регулировать передачу, хранение и использование энергии.

Технологии хранения энергии будут развиваться поступательно до 2020 г., опираясь прежде всего на традиционные технологии гидроаккумулирующих электростанций. В дальнейшем эксперты рассчитывают на появление новых разработок в области электрохимических батарейных систем емкостью в десятки мегаватт и эффективностью конверсии 90%. Альтернативным решением станет хранение энергии с использованием аккумуляторов сжатого газа. К 2050 г., по всей видимости, на рынке появятся новые технологические решения в области высокоемкостного хранения энергии, которые превзойдут существующие на сегодняшний день аналоги.

Приложение

Рисунок 1. **Суммарная мощность ветроэнергетики в Китае**

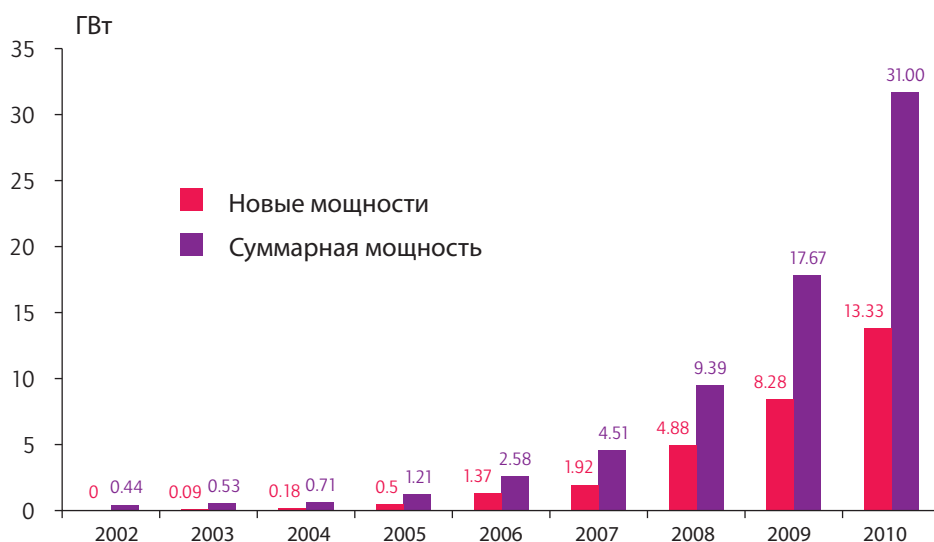


Рисунок 2. **Оценка поступательного наращивания мощности ветроэнергетики в Китае (ГВт)**

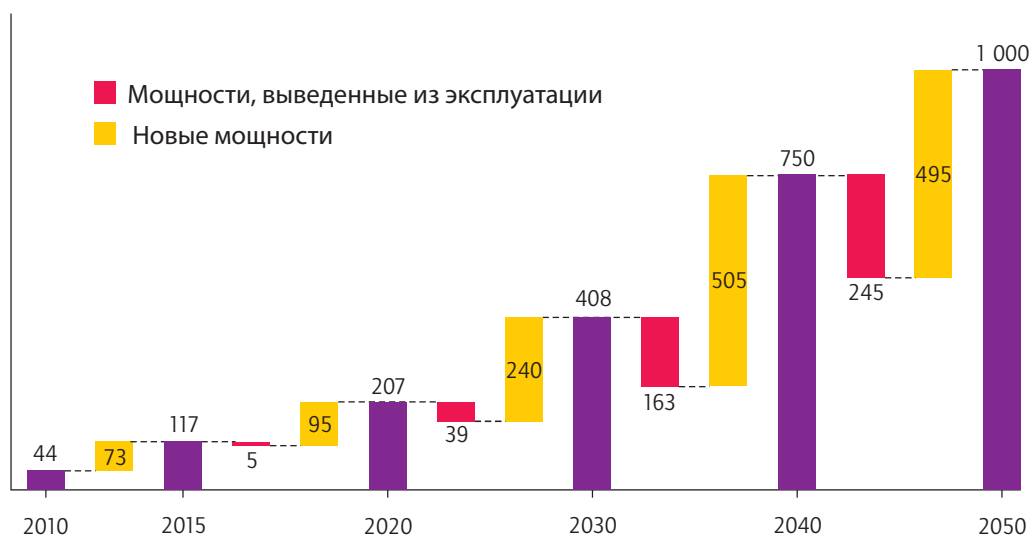
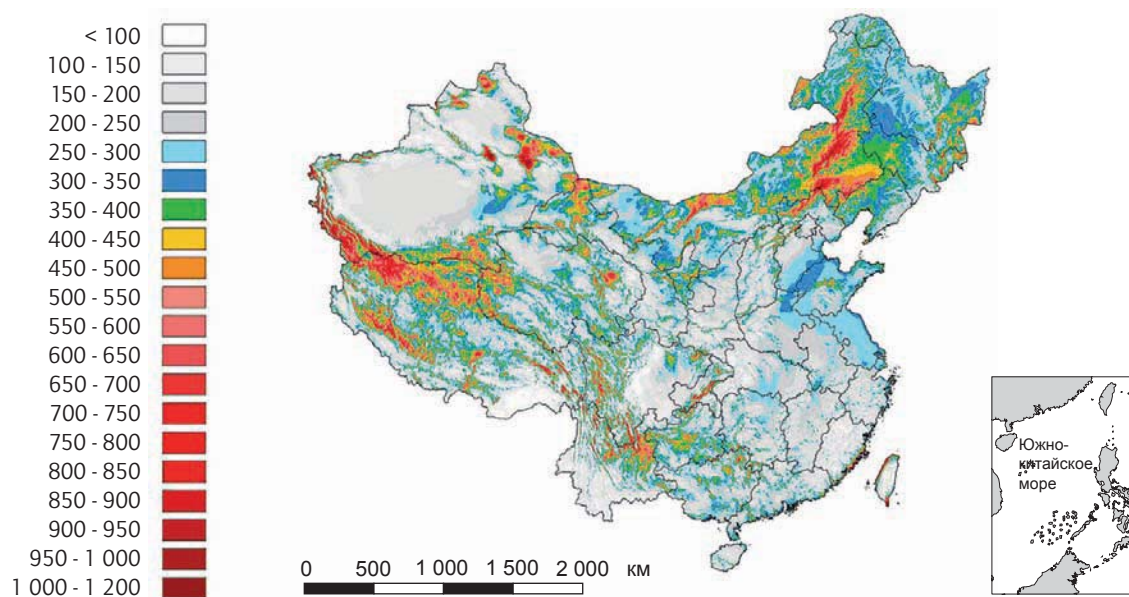


Рисунок 3. Распределение территорий с потенциалом для развития ветроэнергетики
 (регионы с показателем плотности ветряной энергии $\geq 300 \text{ Вт/м}^2$ на высоте 70 м)



**Рисунок 4. Распределение среднегодовой плотности
ветряной энергии в офшорных районах
(на глубине 5–50 м, высоте 100 м; Вт/м²)**

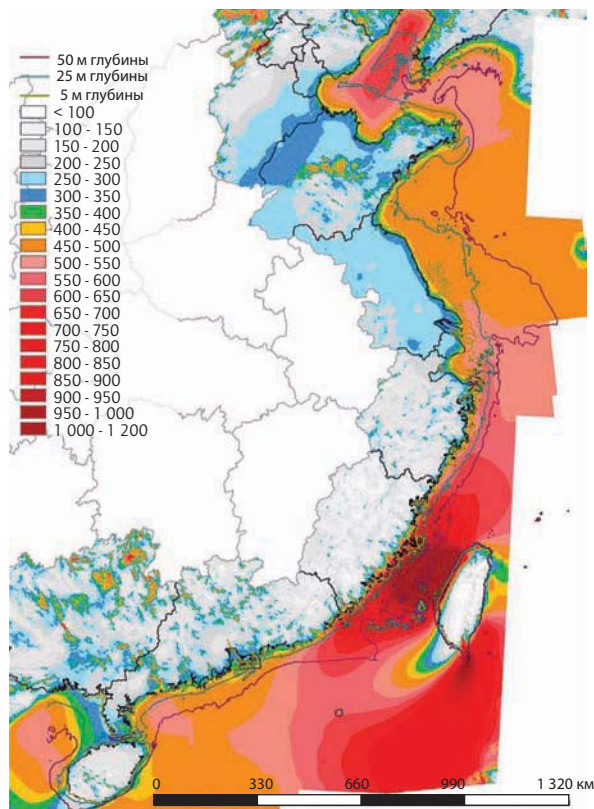
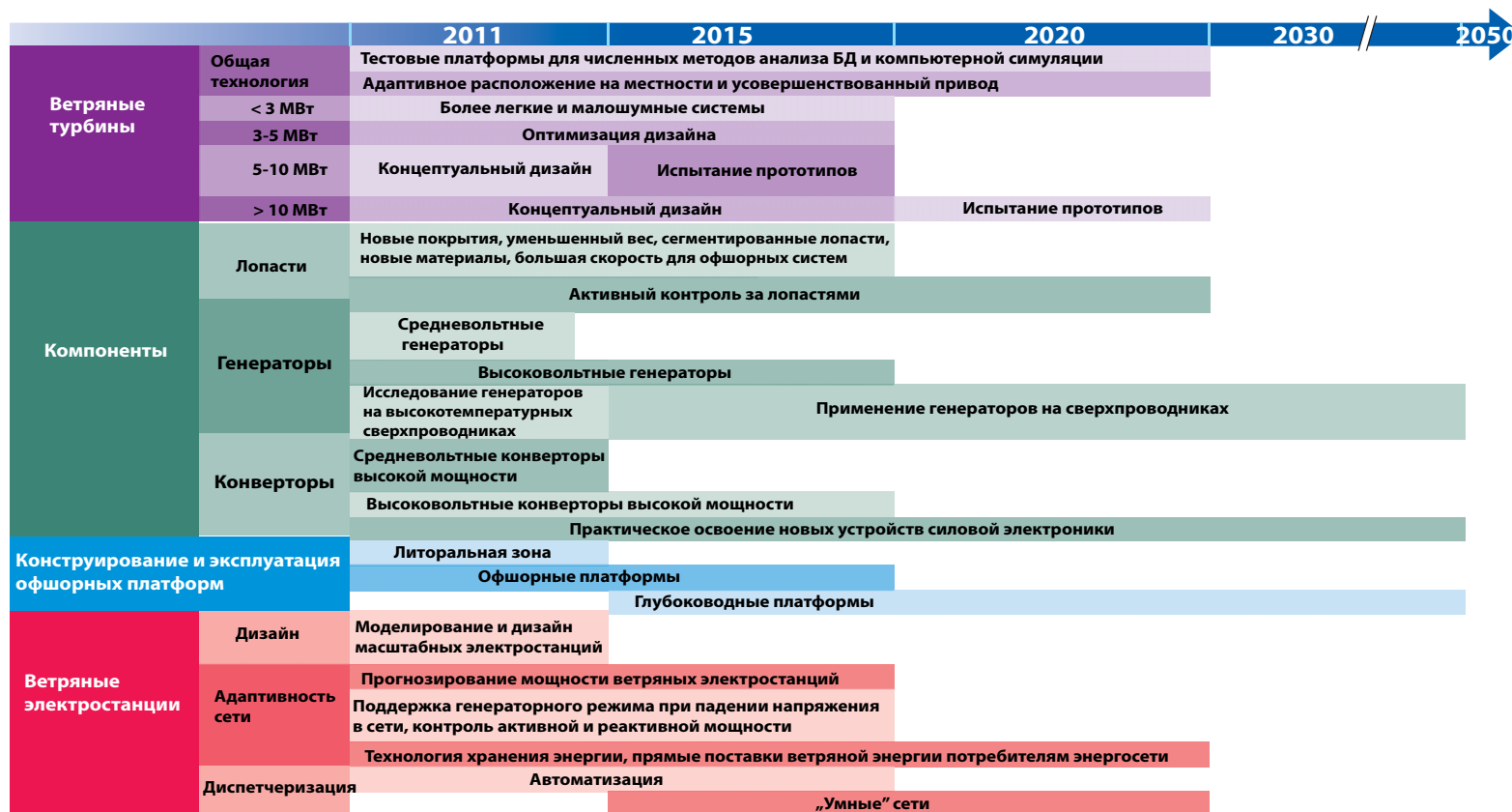


Рисунок 5. Основные направления технологического развития ветроэнергетики в Китае



**Таблица. Оценочные объемы начального инвестирования,
затраты на эксплуатацию и «зеленые» тарифы
для ветряных электростанций
(в ценах 2010 г.)**

Оценочный показатель	Тип электростанций	2010	2020	2030	2050
Инвестиции, юаней/кВт	Наземные	8000-9000	7500	7200	7000
	Прибрежные	14000-19000	14000	12000	10000
	Вдали от берега	-	50000	4000	20000
Затраты на эксплуатацию, юаней/кВт·ч	Наземные	0,1	0,1	0,1	0,1
	Прибрежные	0,5	0,15	0,1	0,1
	Вдали от берега	-	0,3	0,2	0,1
Средние «зеленые» тарифы, юаней/кВт·ч	Наземные	0,57	0,51	0,48	0,45
	Прибрежные	0,77-0,98	0,77	0,66	0,54
	Вдали от берега	-	>2	2	1

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. OECD / International Energy Agency (2011), China Wind Energy Development Roadmap 2050.

Тематические рубрики ежемесячного обзора

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство,
пищевая и химическая промышленность

Информационные и телекоммуникационные технологии
и вычислительная техника

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

Энергетика и транспорт