

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

### Оценка прогнозов развития ветроэнергетики стран Восточной Азии

Попов С. П., канд. техн. наук, Корнеев К. А., канд. ист. наук,  
Максакова Д. В., инженер

**Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева, Иркутск**

На основе актуальных долгосрочных прогнозов развития энергетики дана оценка исходных предположений, используемых для расчётов перспектив развития ветроэнергетики стран Восточной Азии. Выделены основные факторы, препятствующие этому развитию.

**Ключевые слова:** Восточная Азия, прогнозы развития ветроэнергетики, предположения для расчетов.

Регион Восточной Азии характеризуется большими масштабами и высокими темпами роста энергопотребления при возрастании доли электропотребления. Кроме того, наиболее крупные энергопотребители региона — Китай, Япония, Республика Корея — в существенной степени зависят от импорта энергоресурсов. В связи с этим проблемы развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ветроэнергетики как одной из наиболее перспективных отраслей привлекают к себе большое внимание. В регионе имеются уникальные ресурсы возобновляемой энергии — солнца и ветра в районе Гоби, солнца в Тибете и пустыне Такла-Макан, ветров в морях, омывающих страны Восточной Азии. Эти ресурсы настолько велики, что могут рассматриваться в качестве системообразующего элемента для создания так называемого «Регионального энергообъединения стран Северо-Восточной Азии»<sup>1</sup> [1].

В данной статье анализируются основные факторы, влияющие на развитие ветроэнергетики в регионе Восточной Азии. Для этого применяется метод поиска и анализа предпосылок, используемых ведущими мировыми исследовательскими организациями в долгосрочных прогнозах развития энергетики.

#### Потенциал и текущее состояние ветроэнергетики стран Восточной Азии

Страны Восточной Азии (Китай, Япония, Республика Корея, Монголия, Тайвань) обладают богатым ветроэнергетическим потенциалом благодаря их географическому положению на стыке Тихого океана и Евразийского континента. В засушливых степях Гоби между Монголией и Китаем среднегодовая ско-

рость ветров превышает 8 м/с, в прибрежной зоне она составляет 7–9 м/с [2].

Бесспорным мировым и региональным лидером в области ветроэнергетики является Китай. Природные условия позволяют стране активно развивать морскую ветрогенерацию на юго-восточном побережье и сухопутную в северных и западных областях. Максимальные оценки технического потенциала развития ветроэнергетики в регионе составляют: для Китая — 5100 ГВт (из них морские ВЭУ — 200 ГВт), для Японии — 300 ГВт (60 ГВт), для Республики Корея — 110 ГВт (20 ГВт), для Тайваня — 50 ГВт (7 ГВт), для Монголии — 600 ГВт [3, 4]. Таким образом, суммарный технический потенциал для строительства ВЭУ в этих странах достигает примерно 6,5 ТВт. В настоящее время они располагают примерно 2 ТВт генерирующих мощностей.

По состоянию на декабрь 2016 г. суммарная установленная мощность всех ВЭУ на территории Японии составляла 3,2 ГВт, в Республике Корея и на Тайване — 1 ГВт и 0,7 ГВт соответственно, в Монголии — 50 МВт, а в Китае она достигла 169 ГВт [5].

#### Долгосрочные прогнозы развития энергетики стран региона

Наиболее авторитетными международными организациями, на регулярной основе публикующими долгосрочные прогнозы развития энергетики стран Восточной Азии, являются Международное энергетическое агентство при Организации Экономического Сотрудничества и Развития (МЭА), Управление энергетической информации при Министерстве энергетики США (УЭИ), Институт экономики энергетики Японии (ИЭЭЯ — одновременно является головным исполнителем прогнозов для Азиатского Банка Развития), Центр энер-

<sup>1</sup> Регион Северо-Восточной Азии отличается от Восточной Азии присутствием России.

гетических исследований АТЭС (АПЕРК). Относительно недавно крупные нефтегазовые и консалтинговые компании ("British Petroleum", "Exxon Mobile", "Shell", "Bloomberg") начали размещать в открытом доступе не только сценарные предпосылки своих внутрикорпоративных исследований энергетических рынков на перспективу до 2035–2050 гг., но и некоторые числовые характеристики таких прогнозов. Из российских организаций выделяется систематическая совместная работа Института энергетических исследований РАН (ИнЭИ) и Аналитического центра при Правительстве РФ.

Вместе с тем цель и методология таких исследований не позволяют обеспечить достаточно подробный прогноз развития энергетики всех стран Восточной Азии, а среди других видов ВИЭ не всегда возможно выделить ветроэнергетику. В нашей работе рассматривались лишь те прогнозы, в которых в явном виде представлена информация по ветроэнергетике — МЭА, УЭИ, АПЕРК.

В практике прогнозирования МЭА рассматриваются и периодически пересматриваются следующие сценарии: текущая политика (CPS), новая политика (NPS), стабилизация содержания парниковых газов в атмосфере Земли к 2100 г. на уровне 450 ppm. При этом в качестве базового выбран сценарий CPS [6]. Из прогнозов УЭИ [7] и АПЕРК [8] выбраны лишь базовые сценарии.

Горизонт прогнозирования для всех организаций и сценариев одинаков — 2040 г., однако базовые годы у них разные. Анализ и сравнение осуществляются по двум параметрам: установленной мощности ВЭУ как непосредственному индикатору, указываемому в прогнозе, и КИУМ (коэффициенту использования установленной мощности) как расчетному показателю, который позволяет характеризовать качество развития ветроэнергетики.

Кроме того, к анализу привлекались долгосрочные прогнозы развития энергетики, выполненные национальными исследовательскими организациями, а также официальные планы, принятые органами власти.

### Прогнозы развития ветроэнергетики Китая

Практика показывает, что вследствие бурного развития ветроэнергетики Китая плановым органам приходится часто корректировать целевые ориентиры в сторону их повышения. Например, в 2003 г. была поставлена цель достижения в национальном масштабе уровня 20 ГВт к 2020 г., но уже в 2005 г. этот целевой показатель был скорректирован до 30 ГВт, затем (в 2008 г.) — до

100 ГВт, а в начале 2010 г. — до 150 ГВт (данный показатель был превзойден в 2016 г.).

К окончанию 13-й пятилетки в 2020 г., согласно директивам плановых органов страны, требуется довести установленную мощность ВЭУ до 210 ГВт, из которых 5 ГВт — морские ВЭУ. Ветроэнергетика должна обеспечить производство 420 ГВт·ч, или 6 % общего объема генерации электроэнергии в стране. Предполагается, что в отрасли будет создано около 300 000 новых рабочих мест, что повысит численность занятых к 2020 г. до 0,8 млн. По оценке Национальной энергетической администрации Китая, в период 2016–2020 гг. инвестиции в развитие ветроэнергетики страны должны составить более 700 млрд юаней (свыше 100 млрд долл. США) [10].

В табл. 1 (составлена по [9, 10]) приведены рассчитанные авторами для основных регионов Китая и страны в целом следующие показатели: доля собственного электропотребления, обеспечиваемая ВЭУ в 2015 г.; фактическая и прогнозная мощность ВЭУ; оценка среднегодового прироста установленной мощности ВЭУ. Исходя из исторического максимума ввода ВЭУ в Китае, составившего в 2015 г. 33 ГВт, и среднего ввода в период 2010–2016 гг. на уровне 18,7 ГВт, требуемые показатели для выполнения планов 13-й пятилетки Китая по развитию ветроэнергетики к 2020 г. могут быть не только достигнуты, но и существенно превзойдены.

### Национальный вариант развития экономики Китая и максимального роста доли ВИЭ

Исследование развития электроэнергетики Китая на период до 2050 г., выполненное Энергетическим исследовательским институтом Национальной комиссии по развитию и реформам (ЕРИ), рассматривало возможность максимального использования потенциала ВИЭ в электроэнергетике страны при минимальных требованиях к импорту электроэнергии [11]. Эта работа, по всей видимости, является распространением на другие виды ВИЭ ранее разработанной совместно с МЭА дорожной карты развития ветроэнергетики Китая до 2050 г. [12].

В табл. 2 и на рис. 1 приведены основные параметры развития ветроэнергетики Китая, рассчитанные авторами на основе обнародованных в [11] результатов прогноза. Оценка установленной мощности ВЭУ выполнена на основе предположений о структуре ВЭУ (доля сухопутных и морских установок) и прогнозируемых для них КИУМ.

Наиболее эмоциональной характеристикой, приведенной авторами рассматриваемого сценария, является "возвращение чистой

Таблица 1

Страна, регионы	Доля ветрогенерации в электропотреблении в 2015 г., %	Мощности ВЭУ, ГВт		Среднегодовой прирост мощности ВЭУ в 2017 – 2020 гг., ГВт
		2016 г. (факт)	2020 г. (план*)	
Китай, всего	3,4	148,6	210 (5)	15,3
В том числе регионы:				
Восточный	1,7	34,1	59	6,3
Центральный	1,8	15,8	33	4,2
Западный	7,2	81,2	99	4,5
Северный	7,0	17,6	19	0,3

Примечание: \* — в том числе морские ВЭУ (в целом по стране).

Таблица 2

Параметр	Факт		Прогноз		
	2011 г.	2016 г.	2020 г.	2030 г.	2050 г.
Всего генерация, ТВт · ч	4679	6143	8313	11 866	15 196
В том числе ВЭУ, ТВт · ч	97	241	753	2595	5350
Доля ветрогенерации, %	2	3,9	9	22	35
Установленная мощность ВЭУ, ГВт	48	149	388	1211	2372
В том числе морских ВЭУ, ГВт	—	1,6	9	63	222
КИУМ ВЭУ, %	18	20	22	25	26

воды и голубого неба в Китай". Фактически это означает, что правительство Китая планирует кардинальное снижение выбросов в атмосферу основных загрязнителей ( $SO_2$ ,  $NO_x$ , мелких летучих частиц, ртути и пр.). Предполагается, что к 2050 г. они должны уменьшиться до уровня 1980 г., при этом эмиссия парниковых газов должна будет снизиться до 3 млрд т (в 2015 г. она составила 10,6 млрд т)<sup>2</sup> [11, 13].

Аналогичное исследование, выполненное ERI совместно с МЭА в 2011 г., оценивает мощности ветроэнергетических установок существенно менее оптимистично: в 2020 г. — 200 ГВт, в 2030 г. — 400 ГВт, а в 2050 г. — на уровне 1000 ГВт, из которых 150 ГВт будут находиться в прибрежных водах, а 50 ГВт — на плавучих платформах в пределах экономической зоны страны [12].

#### Прогнозы международных организаций для Китая.

Различия в предположениях ведущих мировых центров по вопросу развития ветроэнергетической отрасли Китая показаны на рис. 2.

Несмотря на наименьший оптимизм УЭИ в отношении уровня установленных мощностей (рис. 2, а), эта организация наиболее оптимистична при оценке КИУМ для 2020 г. (рис. 2, б). При этом темпы дальнейшего роста данного показателя представляются весьма консервативными. По-видимому, УЭИ предполагает, что проблемы ограничений выдачи мощности ВЭУ в Китае будут решены уже в ближайшие годы, дальнейший линейный рост мощностей будет обеспечиваться преимущественно сухопутными ВЭУ, а развитие сетевой инфраструктуры по-прежнему будет сдерживающим фактором для ветроэнергетики страны.

Более осторожный подход МЭА предусматривает, что комплекс мероприятий по повышению КИУМ будет завершён к 2020 г., а в дальнейшем увеличение мощностей будет осуществляться с опережающими темпами роста морских ВЭУ (см. рис. 2, б). Данный вывод можно сделать на основе практически линейного роста КИУМ, несмотря на его довольно низкое значение для сухопутных ВЭУ.

В прогнозе АПЕРК изменения показателя КИУМ выглядят очень странно, поскольку в промежутке от 2016 до 2020 г. не предполагается его улучшение и даже предусматривает-

<sup>2</sup> Дается оценка эмиссии  $CO_2$  вследствие сжигания топлива и использования в промышленности. Использование земель и лесов не рассматривается.

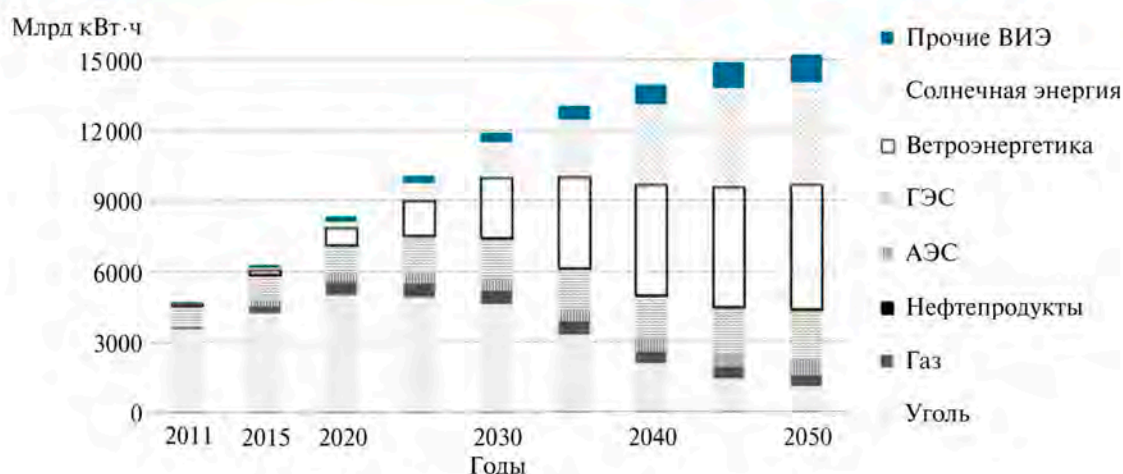


Рис. 1. Прогноз структуры генерации в Китае до 2050 г.

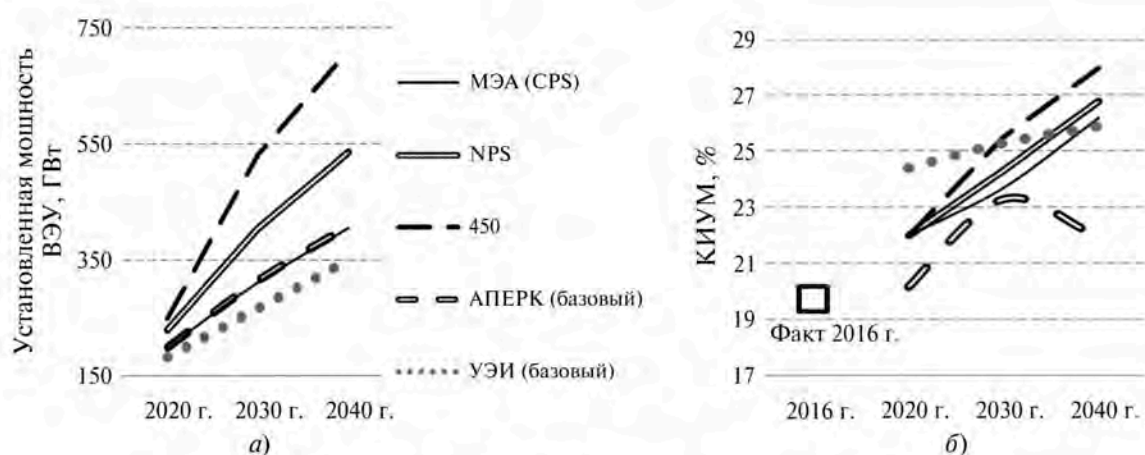


Рис. 2. Сравнение прогнозов развития ветроэнергетики Китая:

*a* — установленная мощность ВЭУ; *б* — коэффициент использования установленной мощности

ся существенное **снижение** после 2030 г. (см. рис. 2, *б*). Никаких обоснований предпосылок, разъясняющих такие изменения КИУМ, не приводится [8].

Причин довольно существенного расхождения прогнозных предпосылок различных организаций может быть множество: различия использованных в расчетных моделях предположений о темпах институциональных реформ в Китае, о динамике развития межсистемных связей, о масштабах, сроках и темпах роста морской ветроэнергетики, а также о темпах исчерпания ресурсного потенциала. Кроме того, нельзя не учитывать вероятность наличия ошибок в расчетах.

### Прогнозы развития ветроэнергетики Японии, Республики Корея, Тайваня и Монголии

#### Япония.

В 2015 г. Министерством экономики, торговли и промышленности Японии был принят Основной энергетический план до

2030 г. Он предусматривает увеличение доли возобновляемой энергетики в структуре производства электроэнергии с 5 до 22 %, причем половину ее выработки из возобновляемых источников будут обеспечивать ВЭУ. Установленная мощность ВЭУ Японии к 2030 г. должна составить 10,5 ГВт, из которых 2 ГВт — морские ВЭУ [14]. При этом по состоянию на февраль 2017 г. в Японии имелось 29 проектов морских ветропарков общей мощностью 6,36 ГВт. Из них были утверждены лишь два общей мощностью 130 МВт [15].

Различия в предположениях о развитии ветроэнергетической отрасли Японии (оценка уровней мощности ВЭУ и расчетные КИУМ) отражены на рис. 3.

В части ветроэнергетики Японии сценарии текущей и новой политики МЭА практически неразличимы. Базовый прогноз АПЕРК отличается от них (см. рис. 3, *a*) снижением темпов роста после 2030 г. и значительно меньшими темпами развития мор-

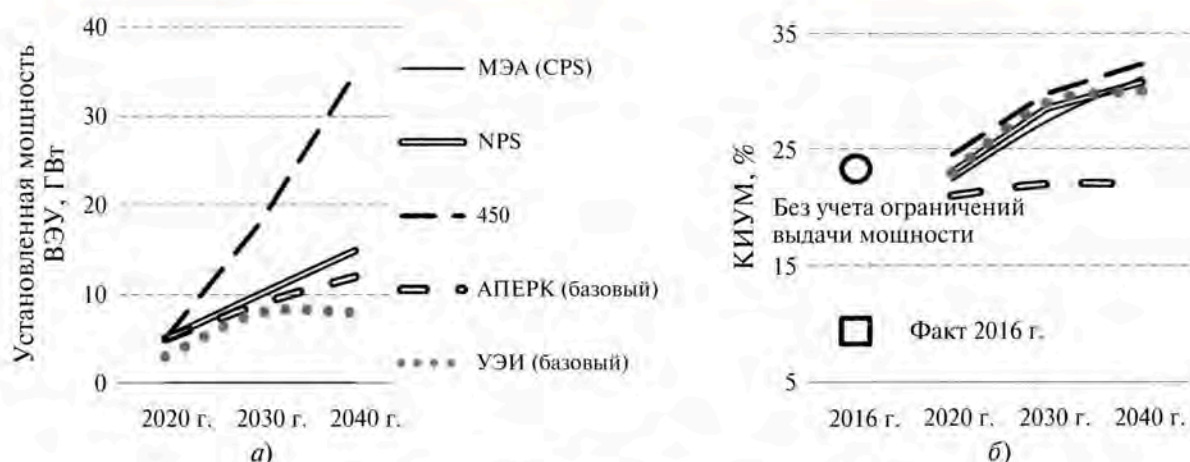


Рис. 3. Сравнение прогнозов развития ветроэнергетики Японии:

*a* — установленная мощность ВЭУ; *б* — коэффициент использования установленной мощности

ских ВЭУ, судя по незначительному росту КИУМ (см. рис. 3, *б*). Прогноз УЭИ еще более пессимистичен, поскольку после 2030 г. он предусматривает стабилизацию мощностей ВЭУ на уровне 8 ГВт (см. рис. 3, *а*). Учитывая, что суммарный КИУМ ветроэнергетики Японии при этом должен возрастать достаточно высокими темпами, можно прийти к выводу: в прогнозе УЭИ предполагается одновременно снижение мощности сухопутных ВЭУ и значительный рост морских. Сценарий 450 МЭА предполагает ускорение развития ветроэнергетики, указывая на необходимость достижения мощности 35 ГВт.

В настоящее время фактический КИУМ ветроэнергетики Японии составляет лишь 9,3%. Поскольку в расчет не включены потери из-за ограничений выдачи мощности, официальная статистика генерации ВЭУ показывает КИУМ, равный 21% (по данным за 2015 г.) [16].

Прогнозы всех организаций практически едины в том, что к 2020 г. КИУМ ветроэнергетики в Японии будет существенно повышен. Это предполагает успешное завершение реформы отрасли, снятие противоречия между тарифной политикой поощрения инвестиций в развитие ВИЭ и правилами регулирования оптового рынка электроэнергии.

#### Республика Корея.

В 2014 г. правительство Республики Корея одобрило четвертый Национальный базовый план развития новых и возобновляемых источников энергии, согласно которому к 2035 г. доля ВИЭ в структуре генерации должна достигать 11% [17]. Планируется строительство 10,5 ГВт новых ВЭУ, при этом приоритет отдается развитию морских ветропарков. Мощности ВЭУ, расположенных на суше,

предполагается увеличить до 2,2 ГВт. Основным механизмом реализации базового плана остается обязательная доля генерации ВИЭ, согласно которой все компании обязаны довести ее до 10% [18]. По состоянию на февраль 2017 г. в Республике Корея имелось 13 проектов морских ветропарков общей мощностью 7,8 ГВт, что практически покрывает необходимый на предстоящие 18–20 лет прирост мощностей [15].

#### Тайвань.

В июне 2012 г. правительство утвердило официальную политику по развитию ВИЭ. Предполагается, что благодаря действию льготных тарифов и привлечению иностранных инвестиций установленная мощность ВИЭ (без учета ГЭС и ГАЭС) к 2030 г. возрастет до 15 ГВт (в 2016 г. она составляла 2,5 ГВт). Установленные мощности ВЭУ по этому плану должны увеличиться с 682 МВт в 2016 г. до 5,2 ГВт в 2030 г. в основном за счет строительства ветропарков на суше. Парк морских ВЭУ должен вырасти с 8 МВт в 2016 г. до 3 ГВт в 2025 г. [19]. При этом по состоянию на февраль 2017 г. на Тайване имелось 11 проектов морских ветропарков общей мощностью 2,27 ГВт [15].

#### Монголия.

Согласно прогнозам, содержащимся в различных документах, которые описывают не выраженную в явном виде энергетическую политику Монголии, к 2030 г. ВИЭ должны составлять треть генерирующих мощностей, предназначенных для обеспечения внутреннего потребления страны, оцениваемого в 1,7 ГВт [20]. Поскольку имеющийся технический потенциал мощностей ВЭУ Монголии на порядок превосходит ее потребности (технический потенциал ветроэнергетики страны

оценивается более 1,1 ТВт), перспективы развития ветроэнергетики будут определяться очередностью создания межгосударственного электроэнергетического объединения стран Восточной Азии — финальной стадии реализации множества таких проектов, как “Гоби ТЭК”, “Азиатская суперсеть” [21] и ряд им подобных.

### Выводы

1. Наиболее существенными факторами, которые оказывают влияние на различия в прогнозах развития ветроэнергетики стран Восточной Азии, являются технологические и институциональные. Относительно низкие значения КИУМ обусловлены слабым развитием магистральных ЛЭП (в Китае и Монголии) и отсутствием конкурентного рыночного механизма ценообразования на национальных оптовых рынках электроэнергии (во всех странах Восточной Азии).

2. Страны Восточной Азии, имеющие доступ к морскому побережью, в предстоящие 5–10 лет предполагают приступить к активному освоению морских ветроэнергетических ресурсов.

3. Вследствие географических, геологических и исторических причин решение проблем безопасности для энергодефицитных экономик Восточной Азии основано на двусторонних долговременных поставках топливных энергоресурсов. При этом электроэнергетические связи в регионе Восточной Азии, за исключением России, Монголии и Китая, в настоящее время отсутствуют. Учитывая предполагаемые масштабы ветроэнергетики, развитие ее наряду с солнечной и гидроэнергетикой может стать основой для формирования электроэнергетического объединения в Северо-Восточной Азии.

### Список литературы / References

1. Otsuki T., Isa A., Samuelson R. Electric Power Grid Interconnection in North-East Asia: A Quantitative Analysis of Opportunities and Challenges. — Energy Policy, vol. 89, February 2016.
2. Resource potential of renewable energy. National policies for new and renewable energy of the countries in North-East Asia region. — Korea Energy Economic Institute Report. Seoul, Korea, July 2016.
3. Wind Energy Future in Asia. — Global Wind Energy Council Report. Brussels, Belgium, August 2012.
4. International Renewable Energy Agency (IRENA) World Statistics (<http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=54>).
5. Global Wind Report. — Global Wind Energy Council. Brussels, Belgium, April 2017.
6. World Energy Outlook. — International Energy Agency Publication. Paris, France, November 2016.
7. International Energy Outlook. — U. S. Energy Information Administration Report. Washington, USA, May 2016.
8. APEC Energy Demand and Supply Outlook. 6th Edition. — Asia Pacific Energy Research Centre Report. Tokyo, Japan, May 2016.
9. China National Energy Administration Data 2015 (<http://www.nea.gov.cn/2016-02/02/c135066586.htm>).
10. China Wind Power Development “Thirteen Five” Plan ([http://www.nea.gov.cn/135867633\\_14804706797341n.pdf](http://www.nea.gov.cn/135867633_14804706797341n.pdf)).
11. China 2050 High Renewable Energy Penetration Scenario and Roadmap Study. — Energy Research Institute Summary. — Beijing, China, April 2015.
12. China Wind Energy Development Roadmap 2050. — International Energy Agency and Energy Research Institute Report. Paris, France, October 2011.
13. Trends in global CO<sub>2</sub> emissions. — Netherlands Environment Assessment Agency report. Hague, Netherlands, 2016.
14. Ken Koyama. Inside Japan’s Long-term Energy Policy. — IEEJ Special Article 2, September 2015.
15. The Wind Power Data ([http://www.thewindpower.net/country\\_list\\_en.php](http://www.thewindpower.net/country_list_en.php)).
16. Wind 2015 Annual Report. — International Energy Agency Publication. Colorado, USA, August 2016.
17. Hwang In-Ha. South Korea’s National Basic Plan for New and Renewable Energies. — IEEJ Energy Trends Topics. December 2014.
18. Sanghoon Lee. Offshore Wind Energy and Market Developments in Korea. — BITZ Bremer Innovation und Technologiezentrum. Bremen, Germany, 2015.
19. Renewable Energy Promotion Policies in Taiwan. — Bureau of Energy Ministry of Economic Affairs Seminar. Taipei, Taiwan, October 2015.
20. Mongolia Renewable Readiness Assessment. — International Renewable Energy Agency Report. Abu Dhabi, United Arab Emirates, March 2016.
21. Gobitec and Asian Super Grid for Renewable Energies in Northeast Asia / Shuta Mano, Dmitry Sokolov, et al. — Printed by Spotinov Print LTD. Sofia, Bulgaria, 2014.

kor\_inf@isem.irk.ru

### Estimation of the forecasts of wind power development in East Asia

Popov S. P., Korneev K. A., Maksakova D. V.

Current long-term forecasts for further development of power engineering are considered to estimate the initial assumptions used to calculate the prospects for wind energy in East Asia. The main factors that hinder the development are specified.

**Keywords:** East Asia, forecasts of wind energy development, assumptions for calculations.