

## ОБЗОР МИРОВОЙ ВЕТРОИНДУСТРИИ ЗА 2016 ГОД

*В.В. Долгошеев, Д.В. Коробатов, А.С. Мартыанов, А.А. Мирошниченко,  
Я.Р. Мужагитов, Д.А. Хвостов, М.С. Чиненов*

Южно-Уральский государственный университет  
д. 76, пр. Ленина, г. Челябинск, 454080, Россия  
тел/факс: +7(912)317-18-05; e-mail: denis\_vk@inbox.ru

## Введение

Предлагаемая статья является переводом ряда отчетов Мировой ассоциации ветроиндустрии (The World Wind Energy Association, WWEA [1]) с комментариями авторов. Перевод сделан с целью ознакомления более широкого круга российских ученых, инженеров, разработчиков и потребителей с достижениями ветроэнергетики, в первую очередь малой ветроэнергетики.

По данным [2] роль возобновляемых источников в общемировой выработке электроэнергии растет с каждым годом. Ряд стран уже достиг равновесия в своих энергетических системах между углеродной и постуглеродной энергетикой, однако эта ситуация не стабильна. В этой статье анализировались данные по установленным в 2016 г. ветровым мощностям.

## Преимущества использования энергии ветра

Во всем мире рынки энергии ветра быстро расширяются [3, 4]. Это связано с преимуществами ветроэнергетики перед традиционными конкурентами [5]: экологичность; использование только локальных ресурсов; достаточно быстрая установка оборудования практически в любой точке, где есть ветер; независимость от существующей инфраструктуры (ветровые фермы и сельскохозяйственное сообщество являются продуктивными партнерами; для турбин и подъездных дорог требуется всего один процент общей площади, а оставшиеся площади бесплатны, например, для фермерства [5, 6]). Кроме того, децентрализованный характер ветроэнергоустановок повышает безопасность системы энергоснабжения перед лицом экстремальных явлений [7, 8]. В 2016 г. производство турбин стало более стандартизированным, а размеры, эффективность и мощность турбин еще больше увеличились.

Необходимо отметить, что анализ общего рынка ветроэнергетики не учитывает распределения ветроэнергоустановок по мощности (крупные и малые до 100 кВт), классам (горизонтально-осевые, вертикально-осевые), функциональности (сетевые, автономные).

## Причины развития малой ветроэнергетики

Сегодня ветроэнергетика выделилась в ряде стран в отдельные отрасли энергетики и играет существенную роль в энергобалансах Китая, Испании, США, Дании, Голландии и т.д. Если ранее информация доводилась до общественности в основном по крупным ветроустановкам мегаваттного класса, составляющим свыше 98 % мирового парка ветроэнергетики, то с 2013 г. особая роль отводится именно малым установкам до 100 кВт. Связано это со следующими обстоятельствами.

1. В связи с изменением мирового климата человечество обязано предпринимать меры как по снижению нагрузки на экологию, так и совершенствованию «зеленой» или возобновляемой энергетики, не оказывающей влияния на окружающую среду [7]. Одним из путей является развитие распределенной энергетики с малой установленной мощностью (в случае глобального потепления или похолодания человек будет думать не о фабриках и заводах, а о собственном спасении).

2. Малый потребитель энергии уже давно нацелен на отказ от магистральных линий электропередач и теплоцентралей, потому что не хочет зависеть от местной энергокомпании, тем более когда тарифы поднимаются без его участия, а отключения порой происходят на основе неплатежей недобросовестных соседей этого потребителя. Подтверждением тому является все возрастающий поток обращений на разработку и приобретение устройств на основе возобновляемых источников энергии.

3. Рынок малой ветроэнергетики уже начал свое интенсивное развитие во всем мире. Так, Минобрнауки РФ с 2006 г. объявляет ежегодные конкурсы на разработку устройств малой распределенной энергетики; в 2013 г. Еврокомиссия впервые опубликовала конкурсы на разработку малых (до 100 кВт) ветроэнергоустановок; Департамент Энергетики США также в 2013 г. объявил о целом ряде конкурсов на развитие малой ветроэнергетики; китайские малые ветроустановки мощностью 1 ÷ 10 кВт известны каждому, кто интересуется малой автономной энергетикой, причем цены грозят обрушить ми-



ровой рынок малой энергетики уже в ближайшем будущем, а качество оборудования не уступает европейскому и т.д. Кроме того, Интернет-магазины предлагают сегодня малые ветроагрегаты широкого спектра мощности с конструкциями от традиционных до экзотических.

4. Малая распределенная энергетика экономически выгодна любому государству, поскольку в случае аварий распределенного электрооборудования и локальных (частных) тепловых сетей ответственность несет сам потребитель или некоторая группа негосударственных потребителей. Простые расчеты сравнения убытков любого государства в результате веерных отключений электроэнергии или аварий крупных электростанций с суммами выделения государственных субсидий/грантов или налоговых льгот дают результаты в пользу последних. По этому пути финансовой помощи идут США, Индия, Германия, Австралия, Россия и ряд других стран, оказывая государственную помощь малым потребителям, а в ряде случаев и разработчикам, изготовителям и обслуживающим организациям.

5. Крупные ветроустановки вобрала в себя все современные технологии авиационной и электротехнической промышленности, однако мощность крупных ветроэнергетических установок практически достигла своего апогея на уровне 8 МВт (Siemens, Vestas, Enercon). Дальнейшее увеличение мощности представляется чрезвычайно сложным в связи с конечной прочностью применяемых материалов и конструкций. Более того, ряд стран, в том числе Германия, стараются демонтировать крупные установки для выноса их в оффшоры (океанические акватории и т.п.). Имеется ряд фактов, говорящих о большом количестве отказов германских поселений от использования мегаваттных ветроагрегатов, аналогичные отказы наблюдаются в США и Испании. Малая же ветроэнергетика завоевывает места на мировых рынках, стремительно совершенствуя технологии [9–12]. Поэтому через 2–3 года эти тенденции, по прогнозу авторов, будут заметными на фоне мировой ветроэнергетической статистики. Ассоциация WWEA уже в начале 2014 г. начала публиковать информацию о малой ветроиндустрии как о свершившемся факте. Ежегодное количество саммитов, форумов и конференций по малой ветроэнергетике составляет уже десятки мероприятий, что также говорит о значительном росте внимания к этому пока еще формирующемуся сегменту рынка.

6. В странах, богатых углеводородами, эта тенденция также просматривается. В газифицированных районах возобновляемые источники не могут сегодня конкурировать с традиционными энергоносителями, но в неэлектрифицированных районах и при отсутствии газа они могут с успехом замещать традиционные. Например, при решении проблемы энергоснабжения индивидуального потребителя встает вопрос – или поставить ветроустановку (сол-

нечные модули или другие альтернативные источники) на 10 кВт стоимостью в 1 млн. руб., или оплатить строительство линии электропередач с теплоцентралью протяженностью 10 км и стоимостью 20 млн. руб. с оплатой по всевозрастающим тарифам. Однако на сегодняшний день малые ветроустановки не так совершенны, как их крупные аналоги: предлагаемые на рынке изделия, как правило, не отработаны, дают частые отказы, не универсальны и т.п. Международный стандарт по ветроэнергетике IEC-61400, имеющий ряд разделов по малой ветроэнергетике, вышел в полной версии только в 2008 г., а в России начал действовать с 2014 г. (ГОСТ 54418). Тем не менее наличие качественной продукции на рынке – вопрос спроса и времени. Спрос уже существует, а сроки повышения качества являются приоритетами на заводах-производителях малой ветроэнергетики.

7. Страны, в которых в достаточных количествах отсутствуют полезные ископаемые, являющиеся энергоносителями, заинтересованы в переходе на стопроцентное энергоснабжение от возобновляемых источников. Ветроэнергетика в этом случае играет важную роль.

8. Косвенным подтверждением стремления мало-го потребителя к распределенной энергетике является тенденция совершенствования аккумуляторов энергии. Даже поверхностный анализ графика потребления отдельно стоящего дома или квартиры показывает, что, во-первых, выгодно использовать не избыточные, а адекватные мощности для зарядки аккумулирующих устройств; во-вторых, график потребления запасенной энергии является неравномерным, поэтому многие предприятия и разработчики наращивают усилия по улучшению качества аккумуляторов [6].

### Введенные мощности мировой ветроэнергетики

По результатам анализа ветроэнергетических мощностей на конец 2016 г. введенная мощность достигла 486 661 МВт, из которых в течение 2016 г. было добавлено 54 846 МВт. Глобальная мощность ветровых электростанций увеличилась на 11,8 % в течение года, немного уступая 2015 г., когда рост составил 17,2 %, то есть 63 690 МВт. К концу 2016 г. более 90 стран имели положительный опыт в выработке электроэнергии из энергии ветра, при этом у 29 стран мощность составила более 1 ГВт. Все ветряные турбины в мире к концу 2016 г. удовлетворяли около 5 % мирового спроса на электроэнергию [2]. На рис. 1 отражены добавленные мощности за период 2012–2016 гг.



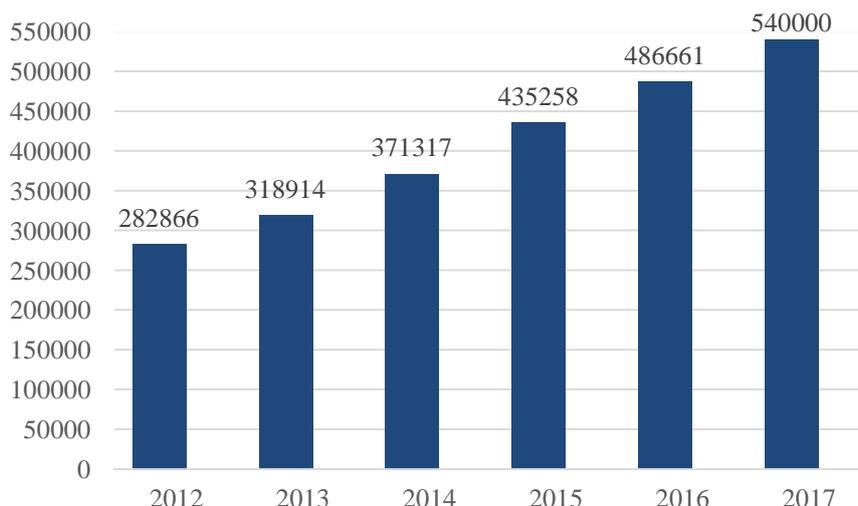


Рис. 1 – Мощности ветроэнергетики, установленные в 2012-2016 (МВт)

Значительное снижение прироста установленных мощностей ветроэнергетики на китайском рынке (после очень сильного прироста в 2015 г.) привело к сокращению выработки электроэнергии во всем мире. Тем не менее Китай сохранил свое лидерство по объемам добавленной мощности в 23 369 МВт, за ним следуют США и Германия с приростом в 8 203 МВт и 5 443 МВт соответственно. На четвертом месте расположилась Индия с приростом в 3 520 МВт. Замыкает «большую пятерку» Испания, увеличение мощности которой составило всего 34 МВт. Существенный рост объемов выработки электроэнергии с помощью энергии ветра продемонстрировала Бразилия,

увеличив мощности на 2 ГВт. Остальные страны, входящие в десятку по объемам прироста, – это Франция (1 772 МВт), Турция (1 363 МВт), Великобритания (898 МВт), Нидерланды (887 МВт) и Канада (693 МВт). Новые рынки продолжают открываться по всему миру: например, Боливия и Грузия установили свои первые ветроустановки только в 2016 г. Самый большой прирост в процентном соотношении за 2016 г. осуществил Пакистан (130,9 %), но по общей мощности ему далеко до стран «большой пятерки» [4]. Установленная мощность на конец 2016 г. отражена на рис. 2.

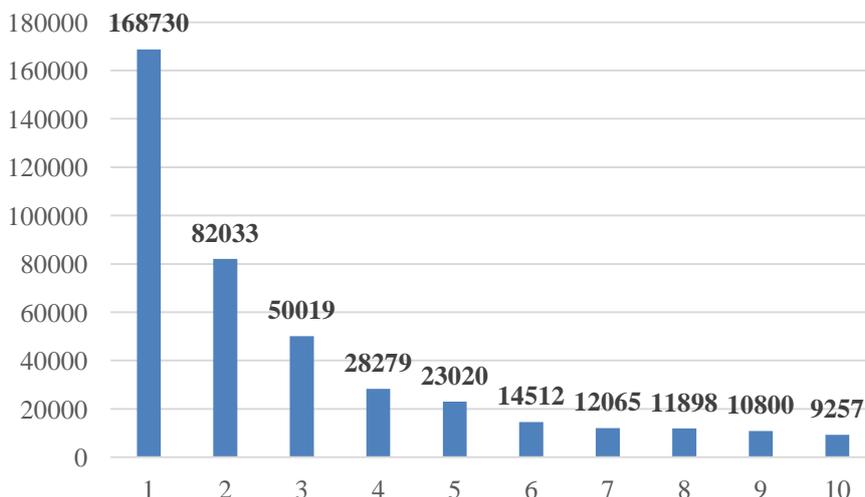


Рис. 2 – Установленная ветровая мощность по странам (МВт):  
1 – Китай; 2 – США; 3 – Германия; 4 – Индия; 5 – Испания; 6 – Великобритания; 7 – Франция;  
8 – Канада; 9 – Бразилия; 10 – Италия

Восьмой год подряд Азия является крупнейшим региональным рынком, который составляет около половины добавленной мощности во всем мире, другая половина приходится на страны Европы и Север-

ной Америки. На рост некоторых крупнейших рынков повлияли политические трудности, однако увеличение мощности было обусловлено экономической конкурентоспособностью, усилением мер по



охране окружающей среды и другими факторами. Следует отметить, что практически повсеместно внедрение генерирующих мощностей на основе энергии ветра является на сегодняшний день наибо-

лее экономичным вариантом решения проблемы энергоснабжения.

На рис. 3 показано распределение установленной мощности на конец 2016 г. по регионам [13].

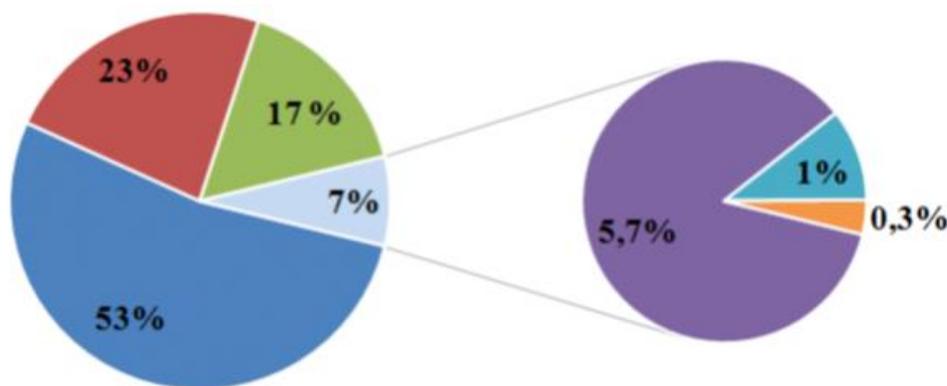


Рис. 3 – Установленные мощности ветроэнергетики в 2016 г. по регионам (МВт): 53 % – Азия; 23 % – Европа; 17 % – Северная Америка; 5,7 % – Латинская Америка; 1 % – Океания; 0,3 % – Африка

Китай добавил 23,4 ГВт и с общей установленной мощностью, приближающейся к 169 ГВт, составил одну треть от общего объема мировых мощностей к концу 2016 г. Доля новых установок снизилась на 24 % по отношению к 2015 г., когда рекордный объем рынка был обусловлен увеличением льготных тарифов на возобновляемую энергетику. Падение в 2016 г. было вызвано отчасти слабым ростом спроса на электроэнергию. Самый большой прирост новых мощностей был в провинциях Юньнань (3,3 ГВт), Хэбэй (1,7 ГВт) и Цзянсу (1,5 ГВт). В северных и западных провинциях по-прежнему вырабатывается значительная часть ветровой мощности в Китае, однако к концу 2016 г. количество новых установок существенно возросло и в южных, и восточных регионах. Несмотря на постановления центрального правительства о новых правилах обеспечения гарантированных ежегодных часов нагрузки для ветровой энергии, сокращение прироста мощности остается серьезной проблемой для Китая. Ввиду плохого взаимодействия между распределительными сетями, отсутствия единой системы передачи, спрос рос медленно по сравнению с прогнозами. В целом, по оценкам специалистов, за счет описанных ограничений технический потенциал Китая в объеме 49,7 ТВт был снижен в среднем по стране на 17 % за год, несмотря на относительно более высокие темпы роста в некоторых других регионах страны. Невзирая на сокращение, доля ветровой энергетики в общем объеме производства электроэнергии Китая стабильно росла в последние годы и достигла 4 % в 2016 г. (по сравнению с 3,3 % в 2015 г.), или 241 ТВт полной мощности [14].

Другие страны Азии также демонстрировали рост. Индия установила 3,6 ГВт до конца 2016 г. с общей установленной мощностью в 28,7 ГВт и укрепила на четвертом месте. Турция имела рекордный год, добавив почти 1,4 ГВт в 2016 г., снова оказав-

шись на 3 месте среди первой десятки стран по новым произведенным мощностям – в общей сложности мощность оставила 6,1 ГВт. Пакистан (0,3 ГВт), Республика Корея (0,2 ГВт) и Япония (около 0,2 ГВт) также добавили мощности, что позволило Азии вырабатывать свыше 203 ГВт энергии. К концу 2016 г. значительный дополнительный потенциал в стадии строительства ветропарков в таких регионах, как Индонезия и Вьетнам прибавят еще 940 МВт [15].

США занимают второе место по приросту мощностей (8,2 ГВт) с общей мощностью в конце года (82,1 ГВт). Энергия ветра в стране занимает третье место после солнечной фотоэлектрической энергии и энергии природного газа для валового прироста мощностей, и второе – в альтернативной энергетике. Рекордсменом по добавленной мощности стал штат Техас (2,6 ГВт) – к концу 2016 г. в штате генерировалось четверть мощностей США. Далее идут штаты Оклахома (1,5 ГВт), Айова (0,7 ГВт), Канзас (0,34 ГВт) и Северная Дакота (0,27 ГВт). Небраска стала восемнадцатым штатом США, превысившим вырабатываемую ветром мощность в 1 ГВт. С учетом крупных ветроэнергетических мощностей в США стоимость коммунальных услуг в ряде регионов (Калифорния, Техас) значительно зависит от годовых флуктуаций ветра с наличием безветренных периодов, когда стоимость электроэнергии за счет перетоков от других источников стоит дороже. Экономическая конкурентоспособность энергии ветра вынудила корпоративных и частных покупателей электроэнергии обращаться к разнообразным компаниям, выходящим на рынок [3].

В Канаде в 2014 г. и 2015 г. общая установленная мощность находилась на уровне 9,7 ГВт и 11,2 ГВт, прирост составил 2,0 ГВт и 1,5 ГВт соответственно [2], а концу 2016 г. общая установленная мощность –



11,9 ГВт [13]. По данным Канадской ассоциации ветроэнергетики (CanWEA) в течение 2016 г. был завершен 21 проект, который добавил 0,7 ГВт установленной мощности. Рост замедлился почти наполовину, однако Канада остается на 8-м месте в десятке лидеров мировой ветроэнергетики и продолжает развиваться в этом направлении. Правительство и коммунальные службы продолжают испытывать потребность в доступном, надежном и чистом электро-

снабжении и в качестве решения чаще рассматривают энергию ветра. На конец 2016 г. в Канаде действовали 272 ветроэлектростанции. При этом за последние пять лет стоимость энергии ветра снизилась на 60 %, что делает ее одной из самых доступных видов энергии [3]. В таблице приведен рейтинг стран по общей установленной и добавленной в 2013–2016 гг. ветроэнергетической мощности.

Таблица

Рейтинг стран по установленной ветровой мощности

| Страна        | Общая<br>установ.<br>мощность<br>на конец<br>2016 г. | Добав.<br>мощность<br>за первое<br>полугодие<br>2016 г. | Общая<br>установ.<br>мощность<br>на конец<br>2015 г. | Добав.<br>мощность<br>за первое<br>полугодие<br>2015 г. | Общая<br>установ.<br>мощность<br>на конец<br>2014 г. | Добав.<br>мощность<br>за первое<br>полугодие<br>2014 г. | Общая<br>установ.<br>мощность<br>на конец<br>2013 г. | Добав.<br>мощность<br>за первое<br>полугодие<br>2013 г. |
|---------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
|               | МВт  |   |  |   |  |   |  |   |
| Китай         | 158 000  | 10 000  | 148 000  | 10 101  | 114 763  | 7 175   | 91 324   | 80 827  |
| США           | 74 696   | 830   | 73 867   | 1 994   | 65 754   | 835   | 61 108   | 59 884  |
| Германия      | 47 420   | 2 389   | 45 192   | 1 991   | 40 468   | 1 830   | 43 660   | 32 458  |
| Индия         | 27 151   | 2 392   | 24 759   | 1 297   | 22 465   | 1 112   | 20 150   | 19 564  |
| Испания       | 22 987   | –   | 22 987   | –   | 22 987   | –   | 22 959   | 22 918  |
| ВБ            | 13 940   | 320   | 13 614   | 872   | 12 440   | 649   | 10 711   | 9 776   |
| Канада        | 11 298   | 109   | 11 205   | 510   | 9 694  | 723   | 7 698  | 6 578   |
| Франция       | 10 861   | 568   | 10 293   | 523   | 9 296  | 338   | 8 254  | 7 697   |
| Бразилия      | 9 810  | 1 095   | 8 715  | 838   | 5 962  | 1 301   | 3 466  | 2 788   |
| Италия        | 9 101  | 143   | 8 958  | 124   | 8 663  | 30  | 8 551  | 8 417   |
| Швеция        | 6 338  | 309   | 6 029  | 157   | 5 425  | 354   | 4 470  | 4 271   |
| Польша        | 5 300  | 200   | 5 100  | 283   | 3 834  | 337   | 3 390  | 2 798   |
| Турция        | 5 146  | 428   | 4 718  | 431   | 3 763  | 466   | 2 959  | 2 619   |
| Дания         | 5 089  | 25  | 5 064  | 76  | 4 883  | 83  | 4 772  | 4 578   |
| Португалия    | 5 040  | 6   | 5 034  |   | 4 953  | 105   | 4 724  | 4 547   |
| Остальной мир | 44 309   | 2 900   | 41 409   | 2 600   | 35 968   | 2 275   | 29 718   | 26 861  |
| <b>Итого</b>  | <b>456 486</b>                                       | <b>21 714</b>   | <b>434 944</b>                                       | <b>21 678</b>   | <b>371 317</b>                                       | <b>17 613</b>   | <b>318 914</b>                                       | <b>296 581</b>  |

### Анализ проведенных исследований

Наиболее полные исследования в области настоящего и будущего ветроэнергетики провела Компания GE Energy Consulting по заказу CanWEA [13]. В рамках этих исследований смоделированы электрические сети в Канаде и большинстве Соединенных Штатов Америки. Развитие ветроэнергетики предполагает четыре возможных сценария – удовлетворение от 5 %

до 35 % потребности в электроэнергии с учетом прогнозируемого годового производства электроэнергии к 2025 г. Сценарий, называемый BusinessAsUsual (BAU), предполагает введение ветроэнергетических мощностей в объеме всего 5 % от прогнозируемых объемов производства электроэнергии. Для целей бизнеса в данном сценарии используются существующие ветроэлектростанции и те, которые строились по состоянию на апрель 2015 г. (рис. 4).



**Рис. 4 – План развития ветроэнергетики в Канаде (BAU):**  
 • – существующие ветроэнергетические установки (ВЭУ)

Второй вариант развития ветроэнергетики, называемый Dispersed Wind Locations (DISP), предполагает относительно равномерное распределение ветроэлектростанций в береговой зоне и обеспечение на их основе 20 % потребностей в электроэнергии в 2025 г. От

сценария BAU этот вариант отличается тем, что дополнительные станции устанавливаются в тех местах, которые считаются наиболее подходящими для обеспечения этих потребностей в каждой провинции и на каждой территории (рис. 5).



**Рис. 5 – План развития ветроэнергетики в Канаде (DISP):**  
 • – существующие площадки    • – 20 % DISP площадки

Третий вариант исследования, названный Concentrated Wind Locations (CONC), предполагает сосредоточение генерирующих ветровых станций внутри континента в провинциях и на территории

я, имеющих самый высокий ветровой потенциал (рис. 6). В этом варианте также рассмотрено покрытие 20 % потребностей в электроэнергии за счет энергии ветра.



**Рис. 6 – План развития ветроэнергетики в Канаде (CONC):**  
 • – существующие ВЭУ    • – 20 % CONC площадки

Четвертый вариант с целевым расположением ветроэлектростанций Targeted Wind Locations (TRGT) и 35%-ным покрытием потребностей в элек-

троэнергии основан на определении провинций с высоким ветровым потенциалом (рис. 7).



International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



Рис. 7 – План развития ветроэнергетики в Канаде (TRGT):

- – существующие ВЭУ
- – 35 % TARG площадки

В результате было выявлено, что в сценариях с 20-ти и 35-типроцентным вкладом ветровых электростанций ветроэнергетика вытеснила более дорогой природный газ и генерацию на основе углеродов. В сценарии DISP 20 % можно избежать ежегодного выброса CO<sub>2</sub> до 12,3 млн т, в сценарии CONC 20 % – 17,0 млн т, TRGT 35 % – до 32,3 млн т и можно было бы сэкономить 47 долл. / МВт·ч производственных затрат по сравнению с существующими показателями [4]. Следует отметить, что Канада обладает высококачественными ветровыми ресурсами во всех провинциях, а канадская электрическая сеть может принять больше чем 35 % энергии ветра. Благодаря уникальным ресурсам ветра в Канаде существуют возможности для максимизации экономического, промышленного развития и экологических выгод, связанных с развитием ветроэнергетики. Правительство Канады взяло обязательство перейти на низкоуглеродную экономику и задало целью обеспечить 50-процентную чистую электроэнергетику к 2025 г. [14].

#### Страны с активно развивающейся ветроэнергетикой

В Бразилии общая установленная мощность в 2014 г. равнялась 6,0 ГВт, прирост за год составил 2,5 ГВт, в 2015 г. – 8,7 ГВт, прирост – 2,7 ГВт [2]. В 2016 г. Бразилия оказалась на 9-м месте в десятке лидеров мировой ветроэнергетики и снова возглавила рынок Латинской Америки [5]. 2016 г. стал важным годом для ветроэнергетики Бразилии – установленная мощность превысила 10 ГВт. В конце 2016 г. совокупная мощность ветроэнергетики в Бразилии составила 10,74 ГВт, то есть 7 % национального производства. В 2016 г. Бразилия добавила 2 ГВт ветровой мощности, установив 947 ветровых турбин на 81 ветроэлектростанции и создав тем самым 30 000 новых рабочих мест, и сократила выбросы CO<sub>2</sub> приблизительно на 16 млн т в год. Несмотря на то что данный сектор сталкивался с серьезными проблемами: экономический кризис; снижение спроса на электро-

энергию; недостаток линий передач в областях с наибольшим потенциалом мощности (3 штата – Рио-Гранде-ду-Норте, Рио Гранде-ду-Сул и Баия – все крупные инвесторы в ветроэнергетике не смогли участвовать в аукционе по резервированию из-за отсутствия пропускной способности); недостаточное финансирование, – тем не менее ветроэнергетика Бразилии поддерживала устойчивый рост благодаря проектам, которые были заключены на аукционах и на свободном рынке в предыдущие годы. Эта страна продолжает оставаться самым перспективным рынком по использованию энергии ветра в регионе [16].

Италия замыкает десятку лидеров мировой ветроэнергетики по итогам 2016 г. с общей установленной мощностью 9,3 ГВт и приростом 0,3 ГВт. В 2014 г. этот показатель был на уровне 8,7 ГВт с приростом 0,1 ГВт, а в 2015 г. – 9,0 ГВт с приростом 0,3 ГВт [2, 17]. Как видно, тенденция роста стабильно сохраняется. В Европе 10,8 % спроса на энергию покрывается за счёт энергии ветра, при этом Италия занимает пятое место в Европейском союзе – её доля составляет 18 %, а генерация 116 ГВт·ч. В 2016 г. финансирование ветроэнергетики в Италии составило 538 млн евро, то есть страна заняла 10-е место в Евросоюзе [18].

В условиях континентального климата, преобладающего в центральной части России, техническое и экономическое преимущество остается за малой и средней ветроэнергетикой мощностью до 1 МВт по целому ряду причин (малые ветра, удаленность объектов друг от друга, малая степень электрификации территорий с отсутствием линий электропередач и локальных сетей).

Германия занимает 3 место по общей мощности ветроэнергоустановок и ведущую роль в Европе. В конце 2016 г. общая мощность ветроэнергетики Германии, составляющая около 46 000 МВт, покрывала 11 % валового потребления энергии в стране. В качестве основы энергетического перехода весь спектр возобновляемых решений, включая ветроэлектростанции, в настоящее время составляет 33 % от энергетического баланса, и этот показатель, как ожидается,

возрастет до 40 ÷ 45 % к 2017 г. и 55 ÷ 60 % к 2035 г. При этом в 2016 г. вырос объем оффшорной ветровой энергии и составил 57 %, а это примерно 13 млрд

кВтч. В то же время объемы энергии ветра, добываемой на суше, снизились на 6 %, до 67 млрд кВтч [19].

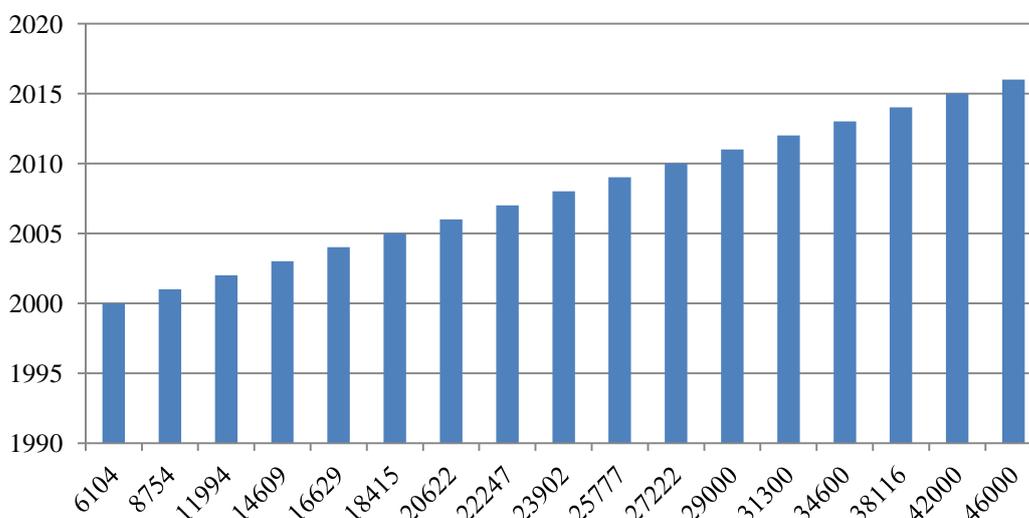


Рис. 8 – Рост мощностей ветроэлектростанций в Германии

В Испании в 2016 г. суммарная мощность ветроэнергоустановок увеличилась на 34 МВт, в результате общая сумма составила 23 026 МВт в соответствии с данными, собранными Испанской ассоциацией ветроэнергетики (АЕЕ) на основе официального сертификата ввода в эксплуатацию в качестве критерия. Установки с суммарной мощностью 32 МВт были введены в ветряных хозяйствах, расположенных в Кастилии и Леоне, и уже были зарегистрированы в старом регистре предварительного распределения. Кроме того, в Канарской области было установлено 4,6 МВт, а в Галисии – 2,1 МВт. Таким образом, к 31 декабря 2016 г. установленная мощность ветра составила 23 026 МВт. При этом энергия, вырабатываемая на ветроэлектростанциях, покрыла спрос на электроэнергию на 19,3 %.

Индия занимает четвертое место в мире по мощности установленных ветрогенераторов. Установленная мощность возобновляемых источников в Индии выросла на 25 %, от 31,7 ГВт в марте 2014 г. до 39,5 ГВт в январе 2016 г. В течение финансового года (2016–2017 гг.) в Индии были введены в эксплуатацию ветроэлектростанции суммарной мощностью 5,4 ГВт. Это на 57 % превышает предыдущий годовой рекорд 2015–2016 гг., когда в стране были построены ветроэнергостанции суммарной мощностью 3,423 ГВт. Суммарная установленная мощность индийских ветроэлектростанций по итогам года достигла 31,117 ГВт. Ожидается, что будут построены ветроэлектростанции мощностью около 5 ГВт [20]. По мнению основателя крупнейшего производителя ветряных турбин, TulsiTanti, в 2017 г. в стране планируется ввести установки суммарной мощностью 6 ГВт. [3]

В 2016 г. мощность сетевой ветроэнергетики во Франции увеличилась на 1 351 МВт до 11 722 МВт. Показатель за весь год составил на 37 % больше по сравнению с 2015 г. Только в четвертом квартале 2016 г. Франция подключилась к 530 МВт по сравнению с 304 МВт и 442 МВт за те же три месяца 2015 г. и 2014 г. соответственно. Даже с увеличением мощности, производство энергии в прошлом году снизилось до 20 ТВт·ч из-за неблагоприятных условий ветра. В 2016 г. ветровые турбины произвели около 4,1 % от потребления энергии. Кроме того, в конце 2016 г. во Франции было проектов на 7 799 МВт наземной и на 3,196 МВт морской ветроэнергетики. Страна установила целевую мощность ветра в 15 ГВт на 2018 г. и между 21,8 ГВт и 26 ГВт на 2023 г. Как заявила Французская ассоциация ветроэнергетики (FEE), для этого ежегодный прирост должен составлять до 2 ГВт [21].

### Заключение

Проведенный анализ показал, что крупнейшим региональным рынком является Азия. Введенные на этой территории мощности составляют около половины мощности, добавленной во всем мире. Другая половина приходится на страны Европы и Северной Америки. На некоторые крупнейшие рынки повлияли политические трудности, тем не менее на мировом рынке наблюдается рост установленной мощности ветроэнергетических электростанций, что обусловлено экономической конкурентоспособностью, усилением мер по охране окружающей среды и рядом других факторов. Отметим, что энергия ветра в мире стала одним из наиболее привлекательных ва-

риантов благодаря наименьшим затратам на новые генерирующие мощности.

### Список литературы

- [1] Сайт Мировой ассоциации ветроиндустрии (The World Wind Energy Association). – <http://www.wwindea.org/home/index.php>.
- [2] WWEA half-year report. URL: <http://www.wwindea.org/11961-2/>
- [3] Renewables 2017 global status report. URL: [http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter\\_02/chapter\\_02/#target-wind\\_80](http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter_02/chapter_02/#target-wind_80)
- [4] Sirotkin, E.A. State of world wind industry development [Text] / E.V. Solomin, E.A. Sirotkin // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – 2014. – No 1. – P. 22–26.
- [5] Сироткин, Е.А. Состояние малой ветроэнергетики в мире [Текст] / Е.В. Соломин, Е.А. Сироткин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2014. – № 1. – С. 26–31.
- [6] Возмилов, А.Г. Анализ причин разбалансировки аккумуляторных батарей [Текст] / А.А. Андреев [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2012 – № 11. – С. 65–68.
- [7] Соломин, Е.В. Ветроэнергетические установки ГРЦ–Вертикаль [Текст] / Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – № 1. – С. 10–15.
- [8] Киндряшов, А.Н. Электрические машины ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения [Текст] / А.Н. Киндряшов, А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2013 – № 1–2. – С. 59–62.
- [9] Кирпичникова, И.М. Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения [Текст] / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – Вып.10. – № 26 (126). – С. 32–35.
- [10] Пат. 2347104 Российская Федерация, МПК F03D 3/06 (2006.1). Ротор ветряной установки с вертикальной осью вращения / Ю.В. Грахов, Е.В. Соломин и др. – № 2006117014/06; заявл. 12.05.2006; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5. – 12с. [30]
- [11] Пат. 2244996 Российская Федерация, МПК H 02 K 19/16 1/06. Генератор переменного тока / С.А.Ганджа, Е.В. Соломин и др. – № 2003124088/09; заявл. 31.07.2003; опубл. 20.01.2005, Бюл. № 2. – 3с.
- [12] Кирпичникова, И.М. Виброгасители мачт сверхмалых вертикально–осевых ветроэнергетических установок [Текст] / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – № 14(190). – С. 78–81.
- [13] CanWEA Awards GE for Work on Pan-Canadian Wind Integration Study. URL: <http://www.genewsroom.com/press-releases/canwea-awards-ge-work-pan-canadian-wind-integration-study-283674>
- [14] Соломин, Е.В. Результаты испытаний и эксплуатации вертикально-осевых ветроэнергетических установок [Текст] / Е.В. Соломин, Е.А. Сироткин, Е.Е. Соломин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2015. – № 3 (15). – С. 70–83.
- [15] Троицкий, А.О. Классификация систем управления ветроэнергетических установок [Текст] / Д.В. Коробатов [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – № 13–14. – С. 38–45.
- [16] Сироткин, Е.А. Историко-экономический анализ ветроэнергетических установок и систем управления [Текст] / Д.В. Коробатов, С.В. Козлов, Сироткин Е.А. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – № 15–18. – С. 54–66.
- [17] Коробатов, Д.В. Регулирование мощности ветроэнергетической установки [Текст] / Д.В. Коробатов, Е.А. Сироткин, А.О. Троицкий // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – № 15–18. – С. 67–74.
- [18] Соломин, Е.В. Перспективы использования малых ветроэнергетических установок в агропромышленном комплексе [Текст] / Е.В. Соломин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Москва. – 2011. – Вып. 7. – С.12–15.
- [19] Соломин, Е.В. Методология разработки и создания вертикально–осевых ветроэнергетических установок: монография ISBN:9785696041995 [Текст] / Е.В. Соломин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 324 с.
- [20] Hydrogen. Chemical Economics Handbook. June 2015. <https://www.ihs.com/products/hydrogen-chemical-economics-handbook.html>.
- [21] Кирпичникова, И.М. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках [Текст] / И.М. Кирпичникова, А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2010. – № 1. – С. 93–97.

