



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • [Электронная библиотека](#)

[Препринты ИПМ](#) • [Препринт № 78 за 2019 г.](#)



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

Кривошеев О.И., [Малинецкий Г.Г.](#)

Возможность и задачи  
крупной ветровой и  
солнечной энергетики в  
России

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Кривошеев О.И., Малинецкий Г.Г. Возможность и задачи крупной ветровой и солнечной энергетики в России // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2019. № 78. 28 с. doi:[10.20948/prepr-2019-78](https://doi.org/10.20948/prepr-2019-78)  
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-78>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**О.И. Кривошеев, Г.Г. Малинецкий**

**Возможность и задачи крупной  
ветровой и солнечной энергетики  
в России**

**Москва — 2019**

О.И. Кривошеев, Г.Г. Малинецкий

## Возможность и задачи крупной ветровой и солнечной энергетики в России

Анализируется возможность крупной ветроэлектростанции в России. Анализируются меры по встраиванию первых нескольких десятков гигаватт генерирующих мощностей в энергетику России. Строится экстраполяционный прогноз ветроэлектростанции в мире. Показывается, что в довольно скорой перспективе ветроэнергетика составит конкуренцию углеводородной энергетике в мире в целом и сырьевому экспорту России в частности. Это вызовет в будущем необходимость перехода на новый тип экономики и необходимость уже сегодня большего экспорта (за счёт экономии внутри страны) углеводородных ресурсов для финансирования технического перевооружения российской промышленности.

Исходя из достижения в перспективе 25%-го порога включения непрогнозируемых мощностей в энергосистему, анализируется традиционная возможность сохранения излишков возобновляемой энергии посредством гидроаккумуляции (ГАЭС). Рассматриваются также вероятные альтернативные источники энергии и способы хранения – солнце и батареи, которые могут в какой-то части заместить ветер и гидроаккумуляцию в меру улучшения их рентабельности.

*Ключевые слова:* ветроэнергетика, энергопрогноз, Россия, кризис, энергетика

O.I. Krivosheev, G.G. Malinetskiy

## Perspectives of high-scale wind & other renewable capacities in Russia

We analyze a possibility of large scale wind-electro generation in Russia. We analyze measures in establishing several first gigawatts of generating capacities. We show that in a rather close perceptible wind energy-generation will depress hydrocarbon energetic in the world as a whole and partially the Russian raw export. Russia will face a need to turn to another type of economy where carbon-hydrogen raw export will have much smaller share.

Meeting needs of storage of excesses renewable generation after integration over 25% unpredictable sources one analyses traditional pumped hydro capacities in Russia. Also are considered most perspective alternative technologies of generation and storage – photo voltaic and batteries.

*Key words:* wind power, energy, electro generation, crisis, Russia

Работа поддержана проектами РФФИ 18-01-00619 и 19-010-00423.

## ВВЕДЕНИЕ

Многое можно понять, взглянув на график динамики развития ветроэнергетики в мире. Последние примерно тридцать лет мировая генерация возрастает в 10 раз каждые 10 лет.

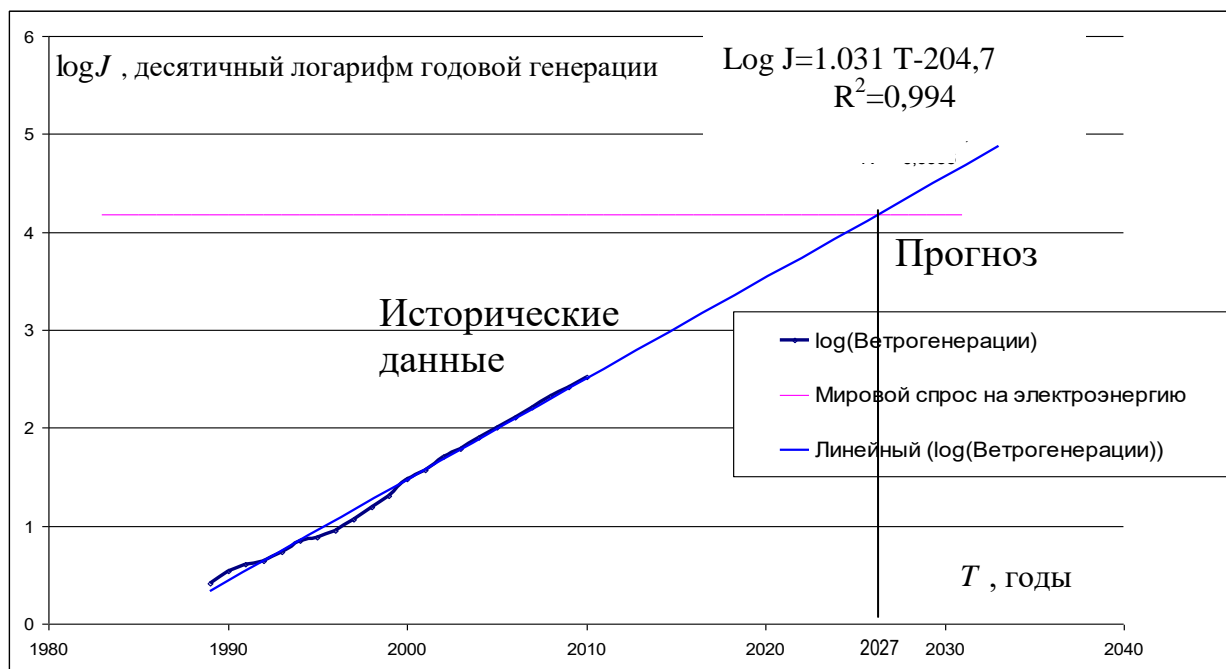


Рис. 1. Десятичный логарифм годовой генерации 1987-2014 гг.

На рис. 1 изображён логарифм годовой генерации за период 1987-2014 гг. Видно, что линейный тренд аппроксимирует логарифм генерации с  $R^2 = 0,994$  (что обычно говорит о существенной устойчивой зависимости) и в близком 2027 г. этот тренд должен пересечь уровень всей текущей электрогенерации (горизонтальная линия на рисунке), а также, если бы не неизбежное промежуточное насыщение, которое ожидается должно наступить на некотором уровне около 2030 г., то и далее, двигаясь тем же темпом (если такое предположить для оценки вариантов), за следующие 10 лет можно было бы достичь уровня всего мирового энергопотребления включая тепловую энергию. Эти очередные десять лет понадобились бы (если предположить сохранение тенденции) в силу того, что электроэнергетика пока лишь шестая–десятая часть полного энергопотребления мира.

Конечно, всё произойдет не так быстро, многое зависит от сопутствующих технологий хранения энергии, что важно для транспортных приложений, которые весьма энергоёмки (33% для Евросоюза), но общая тенденция налицо. Учитывая прогресс в топливных элементах (а также способах добычи нетрадиционных углеводородов), большинство экспертов сходятся во мнении, что перспективы углеводородной энергетики за пределами 15-летнего горизонта туманны.

Из множества альтернативных технологий существуют три технологии-убийцы углеводородной энергетики, дошедшие до полноценной коммерческой стадии: 1) ветер; 2) солнце; 3) батареи.

Сегодня на рынок выпускаются литиевые батареи по цене \$200/кВт·ч. Новые сверхдешёвые батареи, анонсированные компанией Tesla, пойдут на рынок по цене \$100/кВт·ч. Ресурс 10 000 циклов заряд-разряд. Эффективная ёмкость таких батарей 50%<sup>1</sup>. Себестоимость цикла без учёта издержек хранения составляет €2/кВт·ч. Это делает рентабельным пассажирский электротранспорт (и не только его) уже сейчас. Относительным препятствием было то, что при дорогих батареях их нельзя было ставить много. Но при расходе 10 кВт·ч на 100 км \$5÷10 тыс. смогут обеспечить пробег 500÷1000 км. Стоимость заправки на одинаковую дистанцию пробега при этом примерно в десять раз меньше, чем у бензинового двигателя<sup>2</sup>.

Что касается солнца, то уже сейчас во в два раза более рентабельных районах мира, чем лучшие в европейской России участки, стоимость 1 кВт·ч опустилась до €3. Это серьёзная конкуренция как традиционным топливам, так и ветру в наиболее густонаселённых районах земного шара, которые склонны потреблять много энергии.

Реалистичный прогноз состоит в том, что уже к 2030 г., по мнению Международного энергетического агентства, 60% мировой электрогенерации придётся на ветрогенерацию (как основной источник) и иные возобновляемые источники, в первую очередь связанные с разными способами непосредственного усвоения солнечной энергии.

Для России это означает последнюю сырьевую паузу, дающую шанс для перестройки и диверсификации экономики.

### ***Развенчание некоторых мифов***

Российские финансисты некогда развивали концепцию России как «великой энергетической державы». Все могло быть хорошо, если бы энергия была и оставалась дефицитной, но дело в том, что при интенсивности солнечного излучения 1 кВт/м<sup>2</sup> и 1 ГВт/км<sup>2</sup> на площадку от 50×50 км до 37×37 км (площадь по порядку величины размером с Москву) где-нибудь в Сахаре (в северных широтах ещё нужно умножить на cos широты, что даёт поправку до 1/2) в зените приходится поток энергии Солнца, равный всей электрогенерации Земли. А на площадку ~120×120 км – среднее суммарное энергопотребление человечества, включая все виды тепловой энергии (в т.ч. транспорт).

Взять эту энергию прямо из лучей солнца в больших объёмах пока дорого – рентабельность €3÷11/кВт·ч, где €3/кВт·ч – это рекорд для стран Персидского залива. Для центра России в силу особенностей географического положения и климата себестоимость пока на уровне конечного тарифа для московских по-

---

<sup>1</sup> Во избежание преждевременного снижения ресурса.

<sup>2</sup> С ростом ёмкости батарей расходы энергии, конечно, возрастут примерно в два раза.

требителей, в Астрахани примерно  $\phi 6/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ . Однако 40 лет назад это было в 200 раз дороже. Т.е. технология очень быстро удешевляется – каждые 20 лет примерно на один порядок. Если себестоимость упадёт ещё на 1 или 0,5 порядка, то генерация с помощью солнечных батарей тоже станет рентабельной и даже сверхрентабельной, однако на данном этапе в точности ту же солнечную энергию (в неограниченных масштабах) можно рентабельно брать и в виде энергии ветра. Что с успехом делают многие страны – например, в Китае ветровые мощности уже равны всем российским энерго мощностям.

Таблица 1. Себестоимость энергии при высоких скоростях ветра в США [7]

Скорость ветра, м/с	Стоимость кВт·ч, $\phi$
9,3	2,6
8	3,6
7	4,8

Ситуация такова, что ветроэнергетика может давать энергию по цене  $\phi 2,5/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  ( $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \text{ МДж}$  или  $\sim 0,12 \text{ кг у.т.}$ ) в районах со скоростью ветра  $\sim 9 \text{ м/с}$  (табл. 1).

1 кг топлива (или условного топлива) (то же верно для  $1 \text{ м}^3$  природного газа) имеет калорийность менее 30 МДж (для всех видов углеводородов она примерно одинакова). Это примерно  $8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  примитивной тепловой энергии или  $4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии (получаемой из примерно  $8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  с учётом типового КПД электрогенерации, который, как правило, менее 50%).

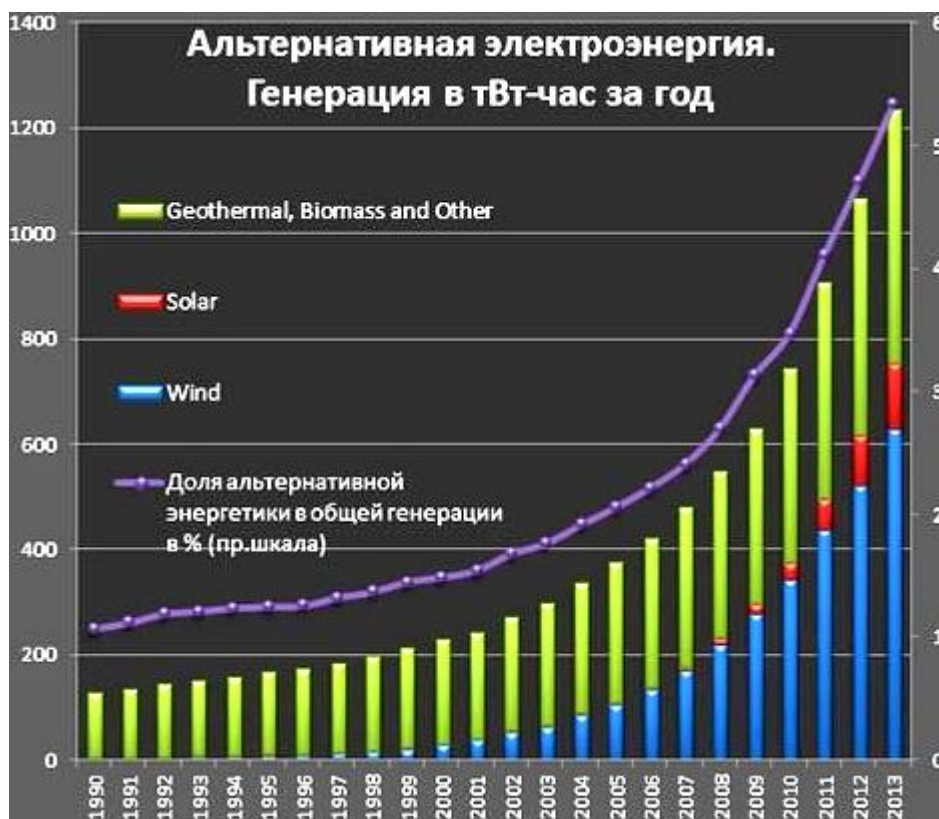


Рис. 2. Рост альтернативной генерации (мир) 1990-2013 гг. Солнечная и ветровая энергетика демонстрируют экспоненциальный рост. [24]

Динамика нормированной стоимости электроэнергии (LCOE) в 2009-2014 годах

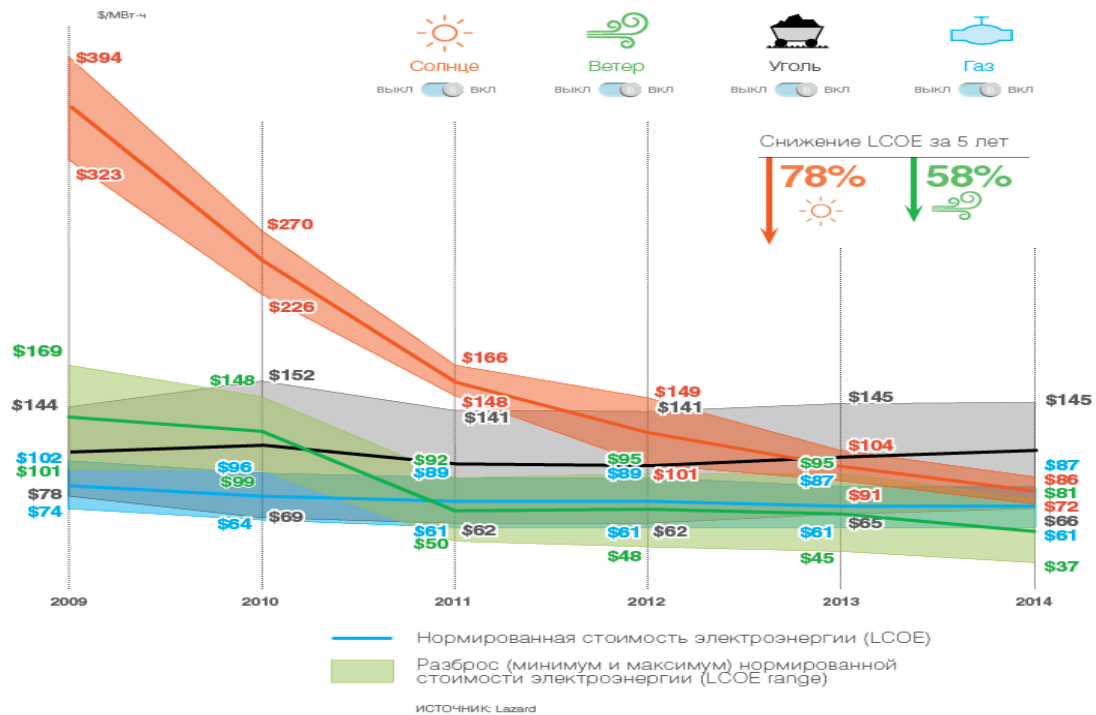


Рис. 3. Динамика себестоимости электроэнергии из газа, угля, солнца и ветра. Ветер – наиболее рентабельный источник энергии – как по среднему, так и по нижнему показателю к 2014 г.

Это означает, что при цене выше  $\phi 10$  за 1 кг условного топлива (или за  $1 \text{ м}^3$  газа, что также примерно 1 кг) – т.е. \$100 за  $1000 \text{ м}^3$  или \$16/баррель<sup>3</sup> – газовая электрогенерация неэффективна, а при цене выше  $\phi 20/\text{кг}$  (\$200 за  $1000 \text{ м}^3$ ) или \$32/баррель нефти может стать неэффективной даже и теплогенерация на основе углеводородного топлива.

В настоящее время никто не может достаточно точно предсказать, будут ли и когда именно созданы более высокоэффективные солнечные батареи, когда будут построены большие гидроаккумулирующие мощности, когда в отдалённой перспективе люди научатся аккумулировать энергию в связанный и газообразный водород. Но уже совершенно точно ясно, что есть дешёвая технология, с помощью которой можно получить, транспортировать и сохранить сколь угодно много энергии по цене в перспективе  $\phi 2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  (и менее).

Заметим, что транспортировка на 1000 км (что достаточно, чтобы соединить все крупные районы потребления энергии с районами предельно и «сверхурожайными» в формате генерации) стоит  $\phi 0,5/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  при серьёзных – не менее чем гигаваттных – объёмах транспорта.

Вопрос стационарного сохранения энергии будет решён в ближайший кризис или «великую депрессию», когда одновременно будут построены и магистральные сети – для транспортировки – и гидроаккумулирующие мощности для хранения энергии от нестабильных возобновляемых источников энергии.

<sup>3</sup> Для наших целей примем 1 баррель ~ 160 кг (более точно 158,99 литров).

Дальнейшее зависит от удешевления углеводородов (в результате сланцевых революций). Они могут оказаться конкурентными при новом уровне цен или вообще уступить место на рынке, но перспективы генерации из возобновляемых источников исключают по крайней мере одно – сохранение высоких цен на углеводороды, и это первый вывод, который не зависит от конкретной технологии.

Ряд моделей указывает на возможность государственного стимулирования экономики путём расширения прямо осуществляемых и стимулируемых государством инвестиций. На то же указывает опыт ряда стран, включая США, которым политика нового курса Рузвельта позволила выйти из кризиса 1930-х гг.

Предлагаемый проект входит в «особую» первую тройку сверхклассических методов стимулирования экономики, которые государство может достаточно успешно применять: энергетика, политика низкого курса национальной валюты и строительство.

Это неудивительно. Технология изменилась так, что за какие-то десять лет ветроэнергетика превратилась в лидера отрасли – благодаря чему её строчка в табл. 2, описывающей себестоимость киловатта, стала одной из самых низких.

Еще недавно в России недооценивали сланцевую революцию, однако сейчас цена газа в США меньше, чем в России. В 1990-е гг. считалось, что сырьевая экономика позволит нам долго и безбедно жить, и ныне страна зависит от цен на энергоносители и многого другого, что не способны получить иначе как в обмен на дешевеющие энергоносители. Считается, что и нашим поставкам в Европу нет альтернативы. И вот Европа, и так неплохо обеспеченная мощностями по приёму СПГ, пытается построить газонепровод в Катар с Ираном, которые через несколько лет смогут снабжать её, минуя территорию России. В этой связи – исходя из плохого сценария, а только на такой и должен закладываться руководитель, – нам надо срочно менять модель экономики.

Таблица 2. Себестоимость производства электроэнергии в зависимости от источника на основе данных за 2009-12 гг., \$/кВт·ч

Тип электростанции	Минимум	Средняя	Максимум
Тепловая солнечная ЭС	0,14	0,25	0,48
Морская ВЭУ	0,17	0,19	0,20
Геотермальная ЭС	0,09	0,12	0,17
Крупная ГЭС	0,03	0,06	0,11
Угольная ЭС с пылеугольным котлом	0,04	0,05	0,11
АЭС	0,01	0,06	0,11
Береговая ВЭУ	0,03	0,06	0,09
Парогазовая ЭС	0,02	0,05	0,07
Приведена оценка себестоимости электроэнергии, включая окупаемость первоначальных инвестиций и эксплуатационные расходы. Источник: OpenEI Transparent Cost Database [4].			



Давайте попытаемся грубо оценить, во что обойдется перестройка экономики страны на несырьевой лад.

Что может быть прототипом соответствующей программы перестройки экономики, которая проанонсирована правительством как программа создания 25 млн рабочих мест с производительностью \$100 тыс. продукции в год при стоимости создания рабочего места в виде единовременного вложения \$200 тыс. или \$100 тыс. только на оборудование при готовой инфраструктуре?

Нетрудно посчитать, что стране потребуется \$2,5 трлн на внешние закупки оборудования. Очевидно, это сделать может а) только государство (бизнес при военной угрозе на это не пойдёт) и б) только за счёт сверхинтенсивного накопления резервов ЦБ.

Это же, в свою очередь, приведёт к постановке ряда других вопросов от компенсации промышленности и населению, которые также могут страдать от возросшей цены ресурсов, до необходимости замещать ресурсы, особенно энергетические, истребованные для внешнего рынка.

При перспективе падения денежной составляющей спроса на энергоресурсы мы также не можем быть уверены в перспективах роста ВВП России, но при совсем хорошей обстановке мы можем столкнуться и с явлением роста ВВП. Однако если таковой произойдет, то он всегда требует опережающего роста энергогенерации.

### *План изложения*

В работе мы формулируем основные положения, касающиеся ветроэнергетики в мире и теории её функционирования, показывая возможность получать сверхрентабельную энергию (на первых порах преимущественно) на севере России.

Мы описываем задачи организации гидроаккумуляции на Волжском гидрокаскаде (гидроаккумуляция понадобится не сразу, а только когда многочисленные высокоманёвренные парогазовые установки и прочие работающие на газе мощности на западе России станут недостаточны для поглощения пиков генерации и поддержания потребления в менее «урожайные» периоды).

Затем будут сформулированы проблемы, связанные с возможным в довольно близком будущем военным сценарием, когда будут уничтожены все крупные ГРЭС, ТЭЦ и АЭС, а также мосты, газонефтепроводы и распределительные узлы, что породит на особый период необходимость гораздо более интенсивно использовать близкие локальные источники – солнце и ветер. Мы покажем, что ввиду возможности войны переразвитие ветроэнергетики в сверхрентабельных районах для экспорта вглубь территории России опасно и должно рассматриваться как способ поддержки на первых порах развивающихся производств.

Возможна трехэтапная схема.

На стартовом этапе предлагается конкретный план интеграции проекта Мезенской приливной электростанции на 8-20 Гигаватт и многогигаваттной

ветроэлектростанции на севере Архангельской области в зоне средних ветроскоростей  $9 \div 10$  м/с (п-ов Канин  $7,4$  м/с у земли и  $+2 \div 2,5$  м/с на рабочей высоте около  $100$  м). Это решит проблему выхода энергосетей в наиболее продуктивный по ветроэнергии район, близкий к сетям Европейской России, как альтернативный весьма перспективный путь можно рассматривать расширение сетей (там узкое «горлышко») в направлении Кольского полуострова<sup>4</sup>, где ветры ещё сильнее.

В дальнейшем перекрытие зеркал Волжского гидрокаскада от Волгограда до Рыбинска, позволит решать задачи гидроаккумуляции вплоть до запасания более одного суточного объема энергопотребления России – поэтому некоторый энергопотребитель должен быть построен к Волжскому гидрокаскаду.

На последующем этапе, по мере окупаемости вложений и отработки технологий, можно приступать к степным южным и прибрежным ветровым районам.

На третьем этапе, в силу улучшения экономических показателей технологий генерации, желательно озаботиться проблемами создания крупных резервов мощности, которые могут выполнять роль страхового запаса на случай прерывания работы центральной энергосистемы и поставок углеводородного топлива из-за Урала.

Реализация этапа 1 неизбежно займет определенное время, и к его истечению надо будет оценить рентабельность фотоэлектрической солнечной энергии. Тем не менее, на этот момент может оказаться, что для южных районов с коэффициентом использования установленной мощности на уровне  $0,16$  и чуть менее с учетом близости к потребителю солнечная энергия окажется надежнее с учётом особого периода и даже без этого экономически привлекательнее. Проблемой фотоэлектрической энергии, которая проявится только при большом уровне интеграции в сеть, является несинфазность выработки с годовым потреблением. Если зимний ветер испытывает двукратный рост генерации, то солнце – примерно 4-кратный провал по сравнению с максимумом. В целом ветер и солнце, будучи в перспективе наиболее рентабельными технологиями, могут дополнить друг друга, до тех пор, пока не будут найдены способы очень долгосрочного хранения энергии и пока рентабельности ветра (в лучших регионах) и хорошего солнца останутся на более-менее сопоставимом уровне.

### ***Себестоимость электроэнергии, полученной от ветра***

Как бы там ни было, опережающие нас европейцы подсчитали, что при больших скоростях ветра – на уровне  $7$  м/с ветроэнергетика эффективнее газовой, атомной и гидроэнергетики. Соответствующие представления отражены в табл. 1 себестоимости киловатт-часа (в центах).

---

<sup>4</sup> Но районы севера Кольского и Канина п-овов коррелированы и друг друга дублируют.

Очень сильный разброс себестоимости ветровой энергии определён нелинейным характером отдачи от скорости потока – кубической зависимостью объёма генерации в расчёте на единицу площади ветроколеса.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ



Рис. 4. Ветрогенерирующие установки [18,19,20]. Слева исторические ветрогенерирующие установки в СССР.

Если  $W$  – поток кинетической энергии ветра,  $S$  – площадь,  $\rho$  – плотность газа ( $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ),  $v$  – скорость потока, то имеет место формула:

$$W = \rho \frac{v^3}{2} S.$$

Т.е. энергия на единицу площади пропорциональна **третьей степени** скорости. Суть этой формулы предельно проста – кинетическая энергия, проходящая через сечение, пропорциональна проходящей массе и квадрату скорости, а масса, проходящая через сечение, в свою очередь, пропорциональна ещё одной – первой степени скорости потока. Иными словами, при росте средней скорости с 3 м/с до 9 м/с выработка энергии возрастает на 1,5 порядка – в 27 раз.

При скорости 8 метров в секунду на каждый квадратный метр потока приходится энергия

$$w = \rho \frac{v^3}{2} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} 8^3 \frac{1}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}^3} \approx 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

что сравнимо с солнечной энергией, приходящейся на ту же площадь, с той лишь разницей, что получение солнечной энергии пока слаборентабельно в силу высокой стоимости и низкого КПД батарей, тогда как теоретически посчитанный максимальный КПД ветряка возникает при падении скорости потока за турбиной до  $\frac{2}{3}$  скорости исходного потока, что соответствует трансформации

$$\eta = 1 - \frac{2^3}{3^3} = \frac{19}{27} \approx 70\% \text{ кинетической энергии потока.}$$

На данный момент считается, что экономически оправданы скорости от 5 м/с.

Типовая стоимость ветрогенерирующих мощностей в районе \$1 тыс. за кВт установленной мощности, типовой срок службы ветрогенерирующего оборудования 25 лет.

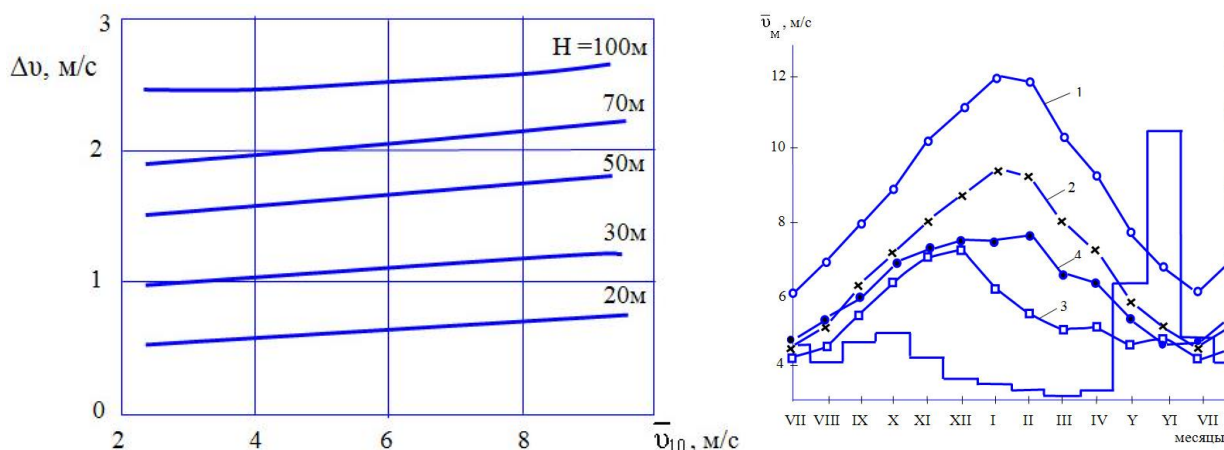


Рис. 5. Приращение скорости ветра с высотой.

Генерация обычно в противофазе с годовым стоком рек, а её максимум совпадает с зимним пиком энергопотребления. [http://www.bellona.ru/reports/Energy\\_Kola\\_Peninsula](http://www.bellona.ru/reports/Energy_Kola_Peninsula) [5]

Как показано на рис. 5, скорость ветра на высоте 70÷100 м возрастает на 2÷2,5 м/с по сравнению со скоростью внизу, скажем, на высоте 10 м.

Приращение скорости с 8 до 10 м/с увеличивает энергопоток через то же сечение вдвое. По этой причине ветряки по умолчанию стремятся располагать на уровне около 100 м над поверхностью земли. Считается, что оптимальная высота расположения генератора 80÷100 м. При этом мощность крупного ветроколеса может достигать нескольких мегаватт. Турбины часто объединяются в кластеры по много гигаватт, что соответствует крупной ГЭС или АЭС. Для справки, максимальная на сегодня мощность одного ветрогенератора морского базирования 8 МВт, при высоте расположения ротора 140 м и пике лопасти ветротурбины на высоте 220 м.

В росте габаритов турбин ожидается дальнейший прогресс. Одна из возможностей изготовления лопастей турбины – на базе полого каркаса (по типу самолётного крыла, обтянутого тканью), что позволит снизить удельную себе-



стоимость единицы мощности ветротурбин, как следствие сделать рентабельной генерацию в районах с гораздо меньшей скоростью ветра.

На рис. 6–8 приведены карты мощности ветров на территории РФ. На рис. 9 представлен рост мощности в ветроэнергетики в мире.

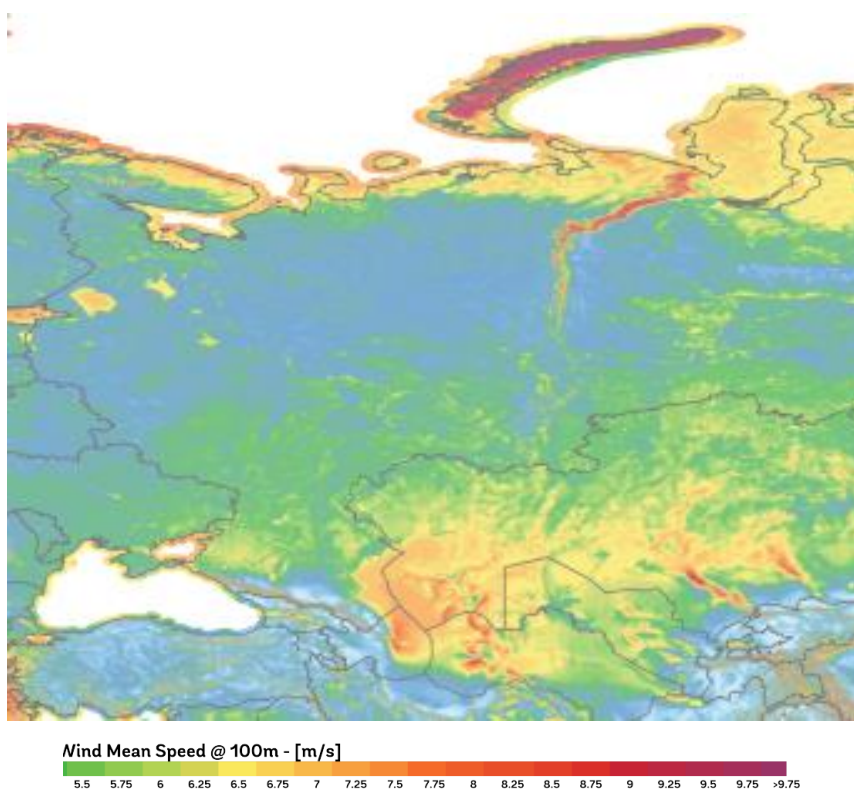


Рис. 6. Карта ветровых ресурсов центрального района России По данным мирового ветрового атласа [2].

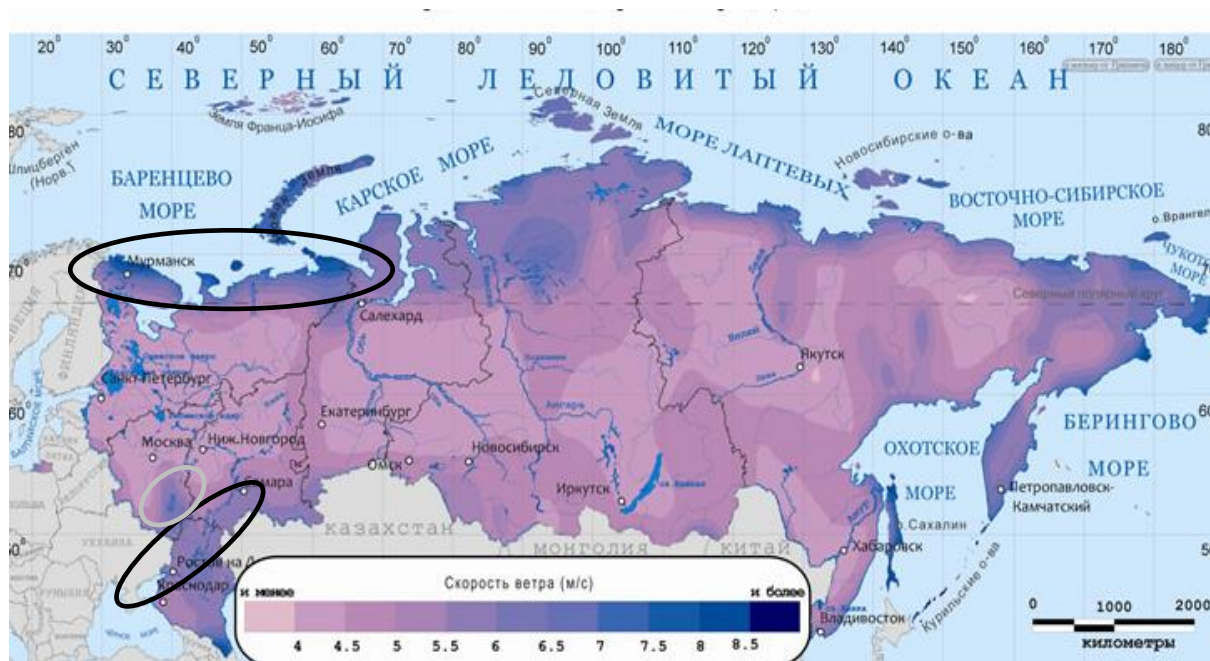


Рис. 7. Подробная карта ветров на высоте 50 м с шагом 0,5 м/с [3].

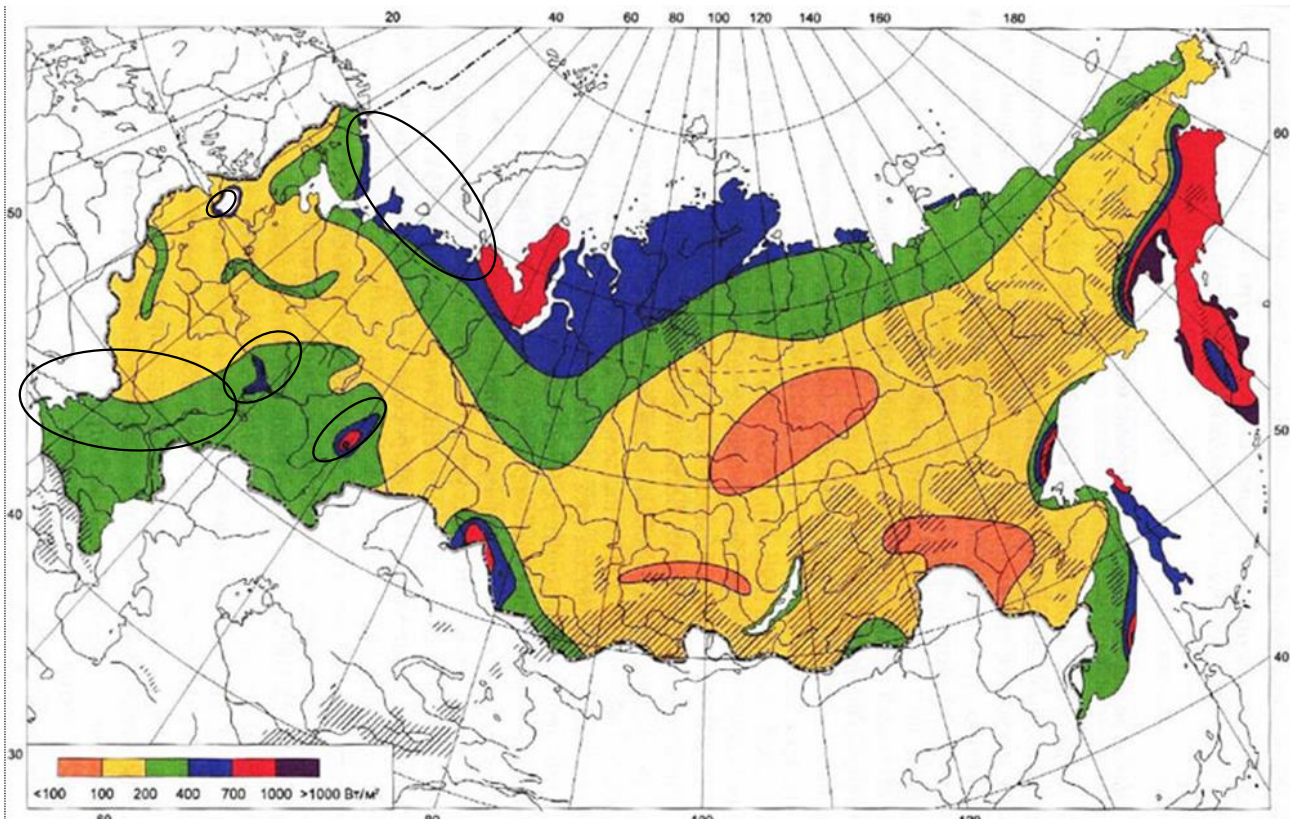


Рис. 8. Карта ветрового потенциала на высоте 100 м ( $Вт/м^2$ ) [20] <http://y nao.regnews.org/doc/aq/2h.htm>.

В европейской России ветроэнергетика рентабельна в Приполярье, прибрежных районах Балтики и островах и берегах крупных озёр [и водохранилищ] и в южных степных районах начиная от Воронежа на юг.

**Динамика объема установленных мощностей ВЭУ в мире (левая ось) и объема мирового производства электроэнергии на ВЭУ (правая ось)**

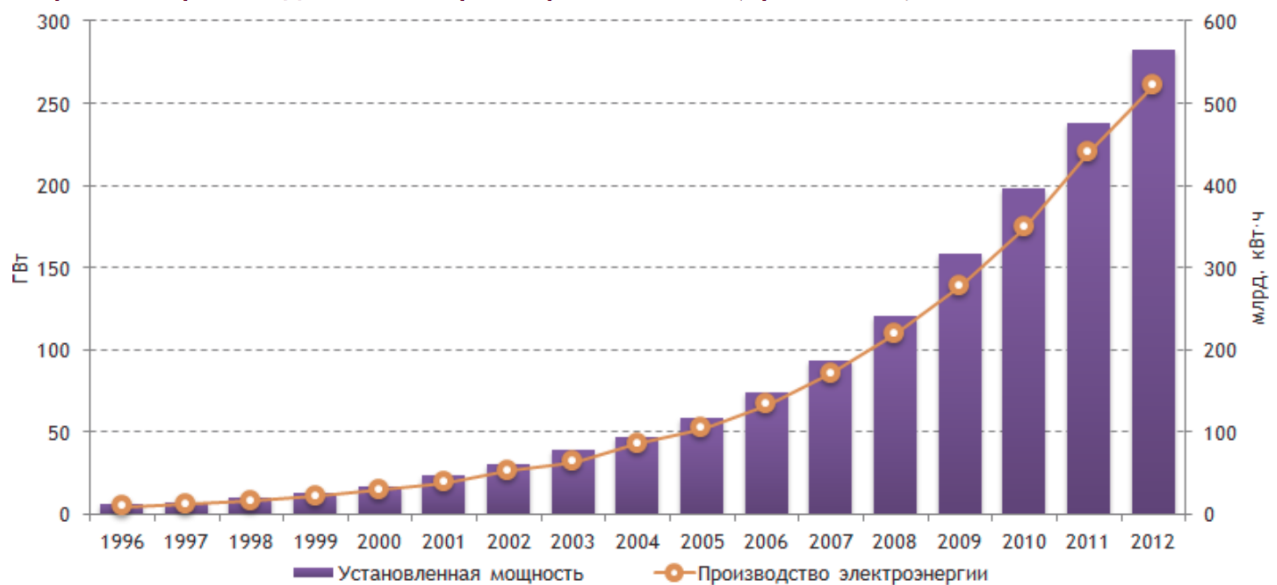


Рис. 9. Рост мощности ветроэнергетики в мире, ГВт с 1996 по 2013 г. на 26% ежегодно.

## ПРОБЛЕМЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Одной из главных проблем ветроэнергетики является низкий коэффициент загрузки мощностей, который зависит от региона, но в целом принимается равным 0,3 (в среднем по энергетике около 0,5, у «врождённо» низкоманевренных АЭС он близок 1, у других станций может быть около  $0,25 \div 0,5$ ). Для солнечной энергетики от 0,15 на юге России и Франции до 0,12 в Германии. Есть регионы, где этот показатель лучше – пустыни (например, Сахара) – и хуже – малообеспеченный солнечным излучением хмурый северо-запад Европы.

Проблема также состоит в неуправляемости ветрогенерации. Но, несмотря на это, как показывает опыт Китая и европейских стран, ветроэнергия может быть сравнительно легко интегрирована в общую энергосистему в количестве до 30% от генерации. Высокоманевренные парогазовые мощности (на них приходится в России 50% генерации) и гидроэлектростанции (в России это 10% генерации) могут легко уступать место изменившейся (возросшей) генерации на основе ветра. Гидроэлектростанции в это время снижают выработку, аккумулируя воду, а ТЭЦ на базе высокоманевренных парогазовых установок экономят природный газ, который, в частности, можно использовать на экспорт. При снижении интенсивности подачи ветроэнергии в общую сеть произойдет быстрое включение генерации на основе газа и воды.

Кроме этого, также можно интегрировать сколь угодно большие доли ветроэнергии. На Украине и в Европе широко развита гидроаккумуляция энергии. Удорожив энергию главным образом за счёт потерь на гидроаккумулирующих станциях, её, теоретически в любых объёмах, можно сохранить в виде потенциальной энергии воды. Например, подъём  $10 \text{ км}^3$  воды из Волгоградского водохранилища в Рыбинское, на перепад высот 50 м эквивалентен половине объёма электрогенерации России в течение суток. Учитывая перекрытие зеркал водохранилищ Волжского каскада – см. рис. 8, эта операция – при соответствующей доводке энергоблоков – вполне возможна.

Естественно, аккумуляция в таком огромном объёме должна потребоваться далеко не сразу, а по достижении порога примерно 25-30% генерации и при желании двигаться далее в данном направлении, а до этого момента может выражаться в сбережении энергии перечисленных выше альтернативных источников [23].

На сегодняшний день суммарная мощность Волжского гидрокаскада 9 ГВт – это 5% мощностей России – позволяет маневрировать преимущественно суточной нагрузкой. Теоретически возможно, используя перекрытие зеркал от Рыбинского водохранилища до Волгоградского и Саратовского, перемещать порядка  $20 \text{ км}^3$  воды на высоту порядка 50 м, что позволяет держать всё энергопотребление европейской части России в течение суток. Конечно, Волгоградское водохранилище имеет несколько меньший объём, но в центре каскада есть очень крупное Куйбышевское водохранилище с полезным объёмом  $35 \text{ км}^3$  и полным объёмом  $58 \text{ км}^3$  – (см. табл. 3), поэтому реальные возможности пере-

мещения даже больше за счет более близко лежащих водохранилищ. Разумеется, суммарный объем перемещения за счет использования меньших перепадов будет больше и составит не менее 30 км<sup>3</sup>. Всё это позволяет создать гидроаккумулирующие станции длинного цикла. Соответствующие проекты есть. Затраты не могут быть очень велики, так как сами водохранилища уже стоят с советского времени, необходимо расширить машинные отделения и добавить турбины с возможностью двусторонней прокачки воды. Поддержание среднего уровня генерации России, как пример – если бы такая задача кем-то могла быть поставлена – при сегодняшнем среднем уровне потребления могло бы потребовать примерно 100 ГВт.

Таблица 3. Объёмы крупнейших водохранилищ и мощность действующих на них электростанций Волжского каскада [23]

<b>Водохранилище</b>	<b>Полезный объём, км<sup>3</sup>*</b>	<b>Название ГЭС</b>	<b>Мощность ГЭС, МВт</b>
Верхневолжское	0,47	—	—
Вышневолоцкое	0,32	<i>Новотверецкая ГЭС, Цнинская ГЭС</i>	2,4 + 0,2
Иваньковское	0,81	<i>Иваньковская ГЭС</i>	28,8
Угличское	0,80	<i>Угличская ГЭС</i>	120
Шекснинское	1,85	<i>Шекснинская ГЭС</i>	84
<b>Рыбинское</b>	<b>16,65</b>	<b><i>Рыбинская ГЭС</i></b>	<b>356,4</b>
<b>Горьковское</b>	<b>2,80</b>	<b><i>Нижегородская ГЭС</i></b>	<b>520</b>
Чебоксарское	0	<i>Чебоксарская ГЭС</i>	1 370
Камское	9,24	<i>Камская ГЭС</i>	537
Нижекамское	1,0(10,0)	<i>Нижекамская ГЭС</i>	1 205
<b>Куйбышевское</b>	<b>34,60</b>	<b><i>Жигулёвская ГЭС</i></b>	<b>2 373</b>
Саратовское	1,75	<i>Саратовская ГЭС</i>	1 378
<b>Волгоградское</b>	<b>8,25</b>	<b><i>Волжская ГЭС</i></b>	<b>2 640</b>

\* В графе объём речь идёт о полезном объёме – реальный объём обычно в 1,5 раза больше.

Также упомянем, что имеются проекты подключения к каскаду для нужд гидроаккумуляции некоторых водоёмов северо-запада России, в том числе Онежского озера.

Упомянем ещё одну проблему, не очень важную на севере России. Современные ветроэнергетические установки достаточно сильно шумят, что в сильно заселённой Европе заставляет искать территории, удалённые от жилья, и выносить ветряки на море, но в России, ввиду наличия слабозаселённых районов, острой проблемы не должно быть, а в районах севера вполне достаточно полностью незаселённой территории.





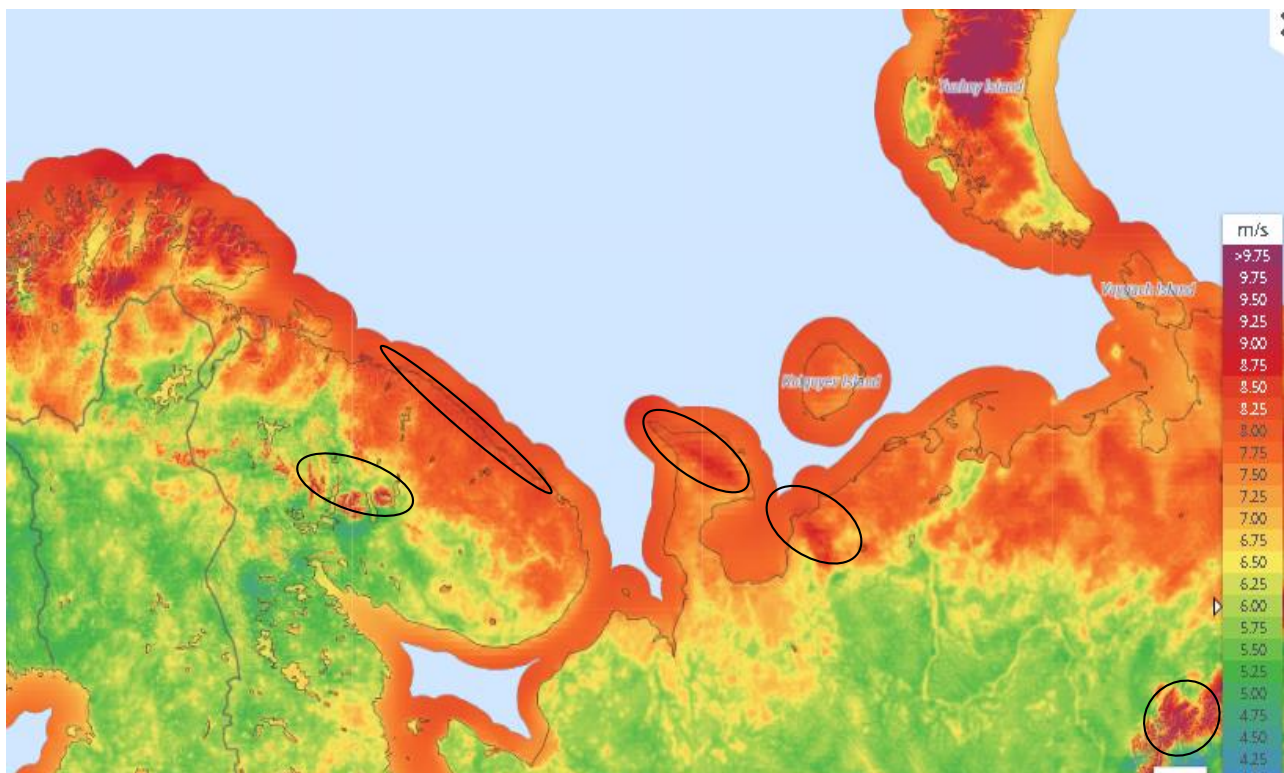


Рис. 11. Часть рис. 6. Карта ветров в северо-западном районе.

Средние скорости ветров 7 метров и более, дающие сверхрентабельность ветроэнергетики, присутствуют на северном побережье европейской части России. В зоне наилучшей доступности полуострова Кольский и Канин. [2]

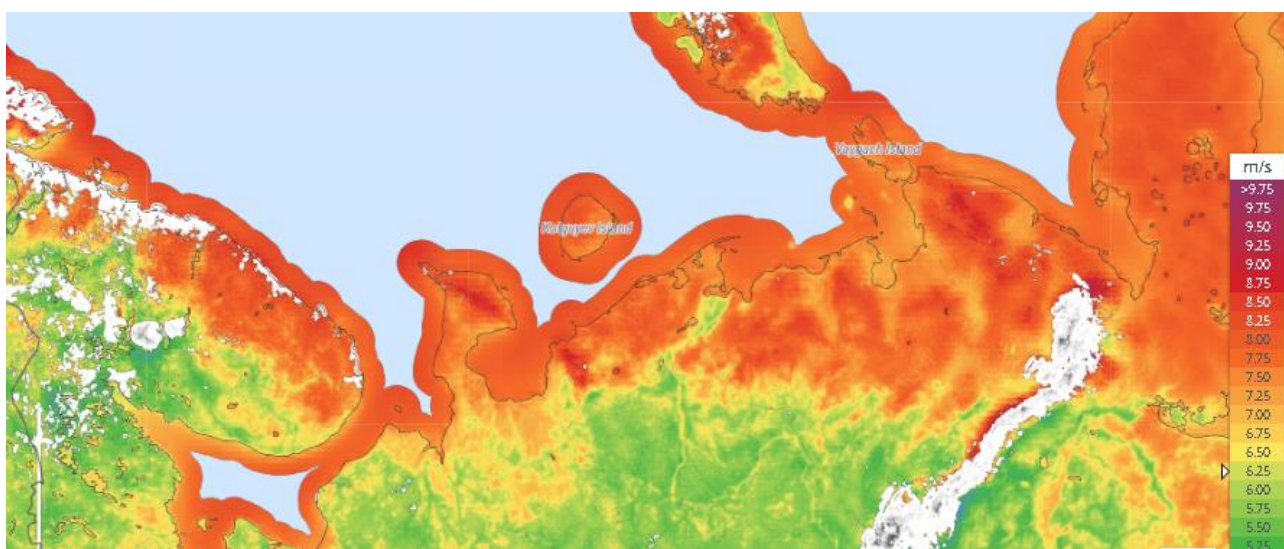


Рис. 12. Карта скоростей ветра на севере России [2].

На севере европейской части имеется три прибрежных равнинных района (стандартные издержки строительства) и два горно-возвышенных района, в которых издержки должны по крайней мере сопоставляться с дополнительными выгодами.





Рис. 14. Существующие магистральные линии передач в Северо-западном (приполярном) районе. Атомная энергия 2.0 [17].

Также пока в теоретическом плане можно рассмотреть вариант, в котором отдельные сектора бассейна ПЭС при необходимости также брали бы роль гидроаккумулятора на себя.

Насколько стоит это делать с использованием ПЭС в данных условиях – вопрос, требующий дополнительного изучения, но использование участков моря, по крайней мере, соответствует опыту Бельгии, которая в настоящее время сооружает гидроаккумулирующую электростанцию в виде огороженного дамбой со всех сторон участка моря. При этом Бельгией декларирована цель, развив ветроэнергетику, снизить зависимость страны от атомной энергетики, которая может столкнуться с проблемами глобального истощения запасов урана.

Параллельно или после освоения Северного ветроэнергетического района может стать актуальным освоение ветрогенерации в республике Крым и в иных районах Причерноморья, Приазовья и на степной территории от Воронежа до Ростова и Волгограда. Минусы в том, что эти территории относительно заселены (т.е. может быть важен шум ветрогенератора), а главное – ветер в этих районах слабее, но в рамках единой энергосистемы в сочетании с источниками из северных районов некоррелированные весьма удалённые от северных районов генераторы дадут эффект понижения дисперсии суммарного уровня генерации, т.к. пространственно распределенные сети ветрогенераторов по опыту Европейских компаний сильно сглаживают эффекты локального шторма.

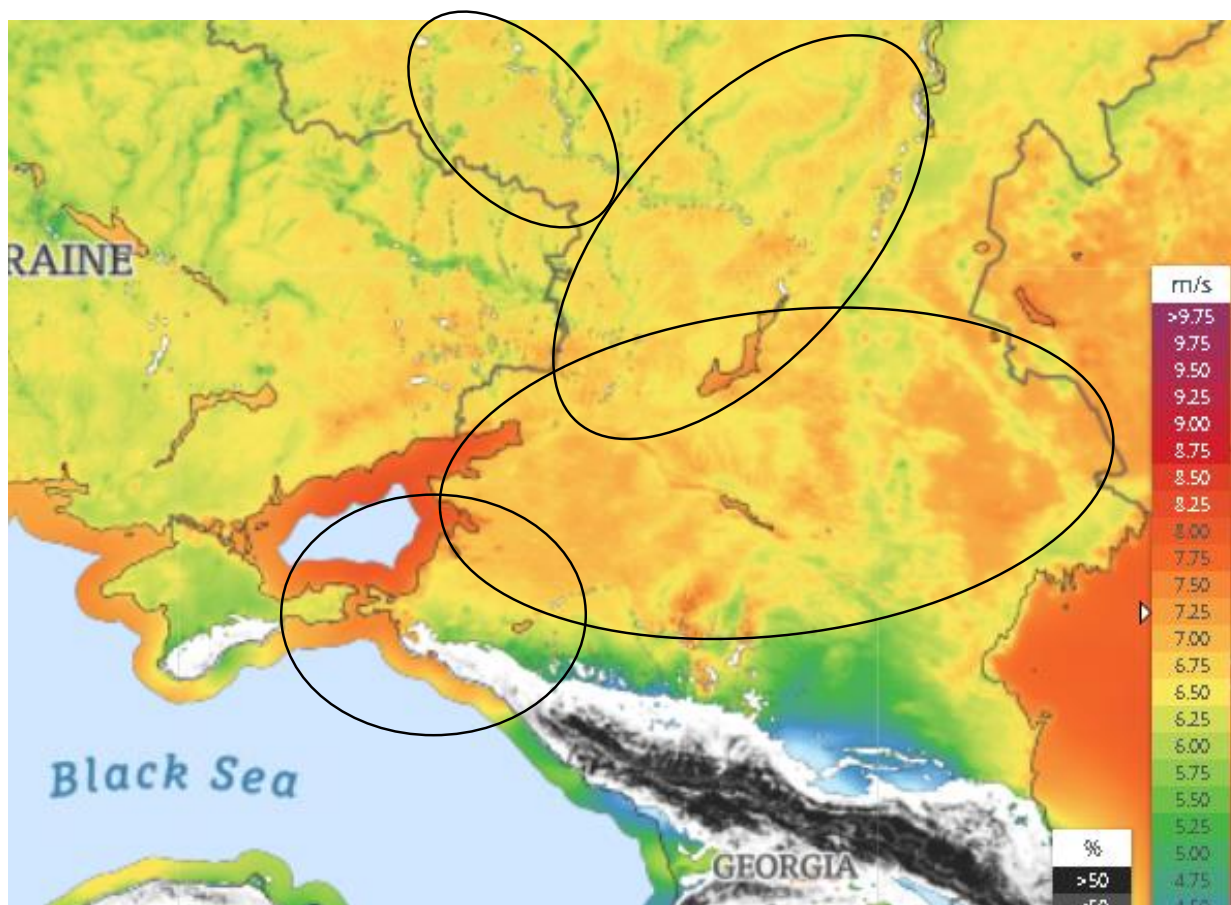


Рис. 15. Часть рис.3. Перспективные ветроэнергетические районы Юга России (Ростовская, Волгоградская область, Приазовье, и вся большая Новороссия + Крым). [2]

Перспективные районы на юге Большой России – Крым (а также вся внешняя Новороссия от Одессы до границ России), Ростовская, Воронежская области и прилегающие к ним регионы. Там средняя скорость ветра меньше –  $5 \div 7$  м/с (в зависимости от высоты ветряка).

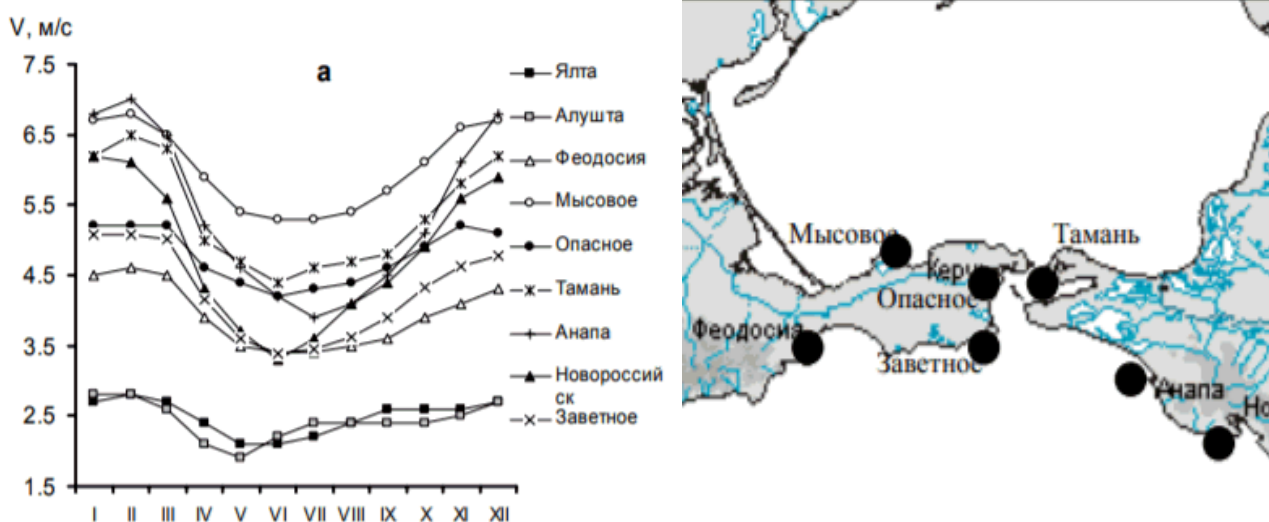


Рис. 16. Годовой ход скорости ветра на метеостанциях на северо-востоке Черного моря [26].

## ***Аспекты применения ветроэнергетики***

### **Прямая необходимость**

Рост ВВП должен породить такой же рост энергопотребления (правительство планирует двукратный рост). И даже без этого, как уже многими и неоднократно замечено, Россия – северная страна с огромным расходом энергии на транспорт и на обогрев, а также с весьма энергоёмкой промышленностью.

В ряд районов и регионов страны нерентабельно тянуть газопроводы, но можно поставлять энергию для отопления. Как показывают расчеты, отопительные энергосети по эксплуатационным расходам со временем могут стать рентабельнее источников на основе углеводородного топлива.

### **Военный аспект**

Центральная Россия почти полностью зависима от ввоза ресурсов из-за Урала. В случае военных действий: гиперзвуковой удар со стороны США и их союзников или сухопутная война с Китаем, который (самое позднее) через 20 лет будет обладать теми же технологиями гиперзвукового удара, за 30 минут выводящими из строя все ГЭС, ПЭС, АЭС, трубопроводы, мосты, насосные станции, электросети и подстанции, – все трубопроводы и Транссиб будут выведены из строя и поставки из Сибири окажутся прекращены в течение приблизительно одного часа.

Ветроэлектростанции относительно более устойчивы к этому удару, однако само их вынесение в отдаленные районы типа Кольского полуострова или п-ова Канин делает их уязвимыми как минимум на уровне линии магистральной смычки с общероссийской энергосистемой, потому такие электростанции могут рассматриваться лишь как способ профинансировать и освоить технологию на участках сверхрентабельности (имеющей место при скоростях до 8 м/с у поверхности и до 8÷10+ м/с на рабочих высотах 70÷100 м).

Далее (с удешевлением технологии) переход на локальные источники питания будет играть большую роль. Мы предполагаем, что с ростом размера ветряков мощности станут всё более рентабельны, и будет актуально приблизить их к потребителям почти всюду вне практически безветренной зоны лесной полосы России. Это, вероятно, станет возможным при введении технологии тканевых полых лопастей турбин (аналогичных крыльям самолётов, использовавшихся в начале прошлого века), что даст дальнейшее радикальное удешевление турбин.

### ***Актуальные темпы развития ветроэнергетики***

В условиях России сталкиваются две проблемы – рентабельность и безопасность. Сверхрентабельные районы рискованны в плане отсечения от энер-

госетей. Приближенные к потребителям районы менее рентабельны и должны быть дотационными.

Если исходить из удвоения ВВП, то целесообразно в перспективе довести ветрогенерирующие мощности до 300 ГВт, но даже без этого, чтобы хотя бы из текущего объёма потребления выйти на 30% ветрогенерации, необходимо пока начать вводить от 3÷5 до 10÷15 ГВт мощностей ежегодно, чтобы к 2025 г. сравняться со среднемировым уровнем развития ветроэнергетики, который по прогнозам превзойдёт 30% генерации к тому времени (наш график и его регрессионная экстраполяция с  $R^2 = 0,99$  на рис. 1 дают основания полагать, что этот прогноз имеет все основания реализоваться).

### ***Перспективы организации контура тепло-энергосети***

Можно также предположить, ввиду перспектив вторжения электроэнергетики в область, где использовалось ископаемое топливо без преобразования в электричество (до 90% всей энергетики), и учитывая особенности климата, а также имеющее место уже сейчас потребление около половины электроэнергии в плавильных электропечах в металлургии (современная технология плавки, имеющая тенденцию к вытеснению сжигания топлива на месте), когда-нибудь будет поставлена задача создания тепловой энергосети (со сравнительно низкокачественной энергией).

Тепло-энергосеть за счёт экономии на входном оборудовании сняла бы много проблем и барьеров для запуска частной энергогенерации до уровня домохозяйств, повысила бы живучесть системы на особый военный период как за счёт общественной децентрализации генерации, так и за счёт неизбежного в этом случае наличия у конечных потребителей резервного оборудования, пригодного для того, чтобы с выгодой (для конечных пользователей) конвертировать низкокачественную энергию в полезную энергию, удовлетворяющую современным стандартам частоты.

В настоящее время вопрос отопительно-тепловой энергосети требует дополнительной проработки.

## **ЭКОНОМИКА**

До сих пор мы применяли чисто микроэкономический инструментарий для аргументации. Для стимулирования роста ВВП и занятости правительство вынуждено проводить политику низкого курса. При этом сверхдоходы сырьевого сектора вынужденно изымаются и складываются в золотовалютные резервы – так называемую «кубышку». Иначе возникает риск того, что страна получит просто отток капитала и голландскую болезнь – подавление высокотехнологических производств. Разумеется, эти риски могут парироваться сильной промышленной политикой, направленной на создание высокорентабельных производств внутри страны.

Часть средств золотовалютных резервов можно использовать для формирования резервов в виде энергетических мощностей. Эти мощности, будучи один раз [адекватно] установленными, далее будут приносить доход, возвращая вложения, сделанные за счёт валютных резервов. Для заинтересованности частных инвесторов можно применить беспроцентный или близкий к этому лизинг оборудования. Наличие таких резервов позволит субсидировать экономику постоянно или в рамках борьбы с циклическими кризисами. Разумеется, часть изъятых средств при этом вернется в экономику, что ослабит меры по проведению политики низкого курса. Государство при этом сталкивается с инструментом, который имеет двойное действие – стимулирует экономику за счет текущего спроса и за счёт дополнительных выгод дешевой энергии в перспективе. При этом, чтобы не допустить повышательного влияния на курс, объём издержек на внутреннее промежуточное потребление должен быть на 90%+ компенсирован увеличениями изъятий в сырьевом секторе. Для ситуаций, когда государство будет покупать полностью готовые заводы и оборудование за рубежом, такая компенсация потребуется в меньших объемах.

В общем случае, если на импортное оборудование тратится некая доля бюджета, то эта доля должна и может быть покрыта за счёт средств, являющихся результатом проведения политики низкого курса и накопления ЗВР. Предполагается, что никому в голову не придёт такие программы использовать на замещение российского производства.

## АЛЬТЕРНАТИВЫ

Альтернативы энергии солнца нет. Мы её берём либо через ветер, либо напрямую, обычно с помощью фотоэлементов. Если крупная ветроэнергетика возможна в ограниченном числе районов, большинство из которых удалены от потребителя, то для солнечной энергетики это не совсем так. Значительная часть территории России имеет коэффициент использования установленной мощности на уровне  $\frac{1}{2}$  от максимального, наблюдающегося в пустынях Северной Африки и Ближнего Востока.

Самые хорошо расположенные и современные солнечные электростанции реализуются исходя из тарифа  $\text{€}3/\text{кВт}\cdot\text{час}$ . При таком раскладе Оренбург и Астрахань должны генерировать по  $\text{€}6$ , Орёл-Тула – до  $\text{€}8$ , Подмосковье – от  $\text{€}8\div 10$ .

Когда рентабельность солнечных батарей достигнет  $\text{€}1,5/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  и будет далее предсказуемо снижаться, далее в наиболее урожайных районах с числом солнечных дней около 100%, рентабельность тех же батарей в районе Оренбурга составит  $\text{€}3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  в регионах около средней полосы России составит всего на треть больше –  $\text{€}4/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ .



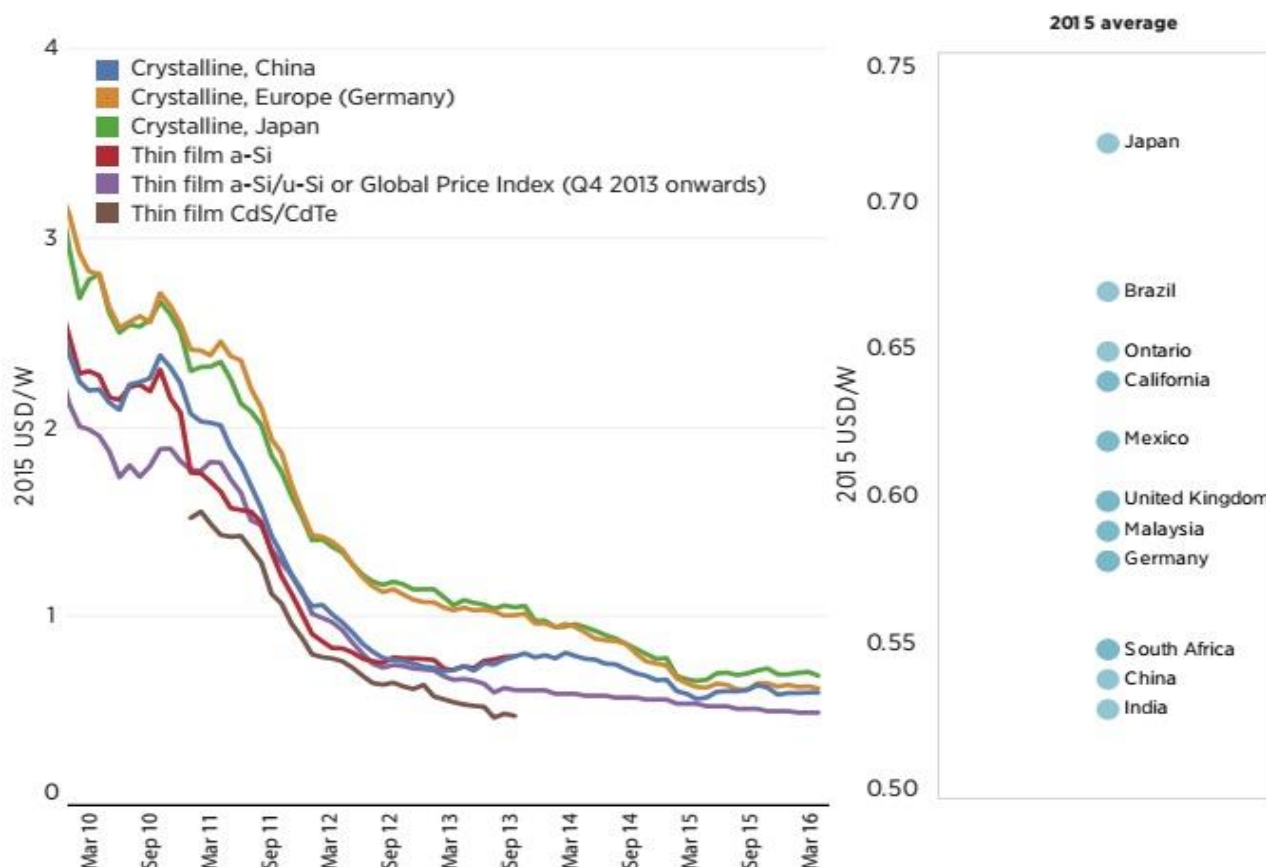


Рис. 17. Динамика стоимости солнечных модулей USD/Ватт.

## The Beautiful Math of Solar Power

Every time the world's solar power doubles, the cost of panels falls 26%

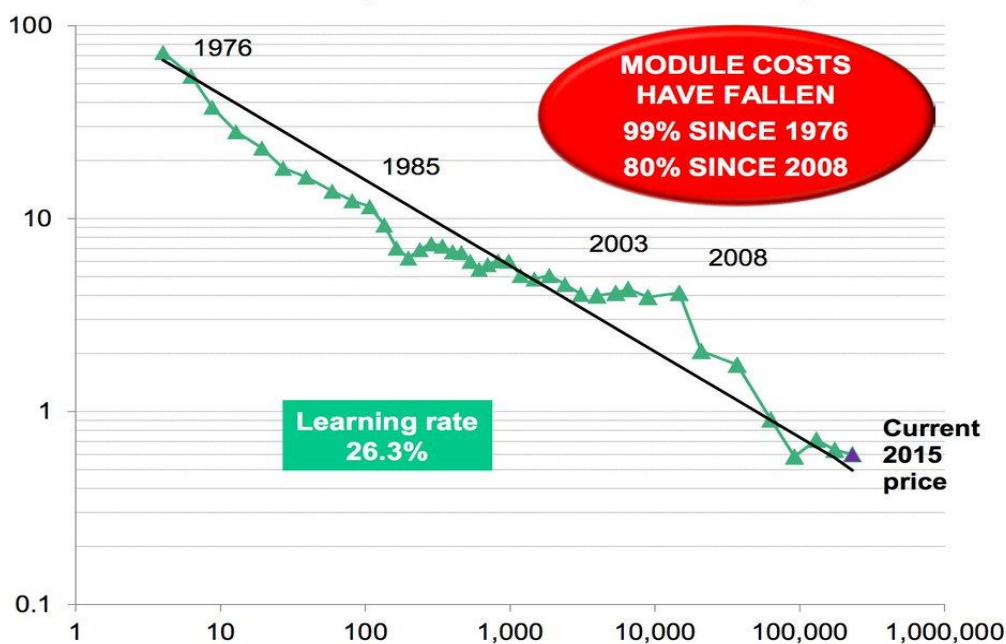


Рис. 18. Кривая «обучения» для цены солнечных модулей с 1976 по 2015 гг. в билогарифмическом масштабе.

Каждое увеличение объема установленных (точнее, произведенных) мощностей на 100% должно вести к удешевлению технологий порядка 30% [26].



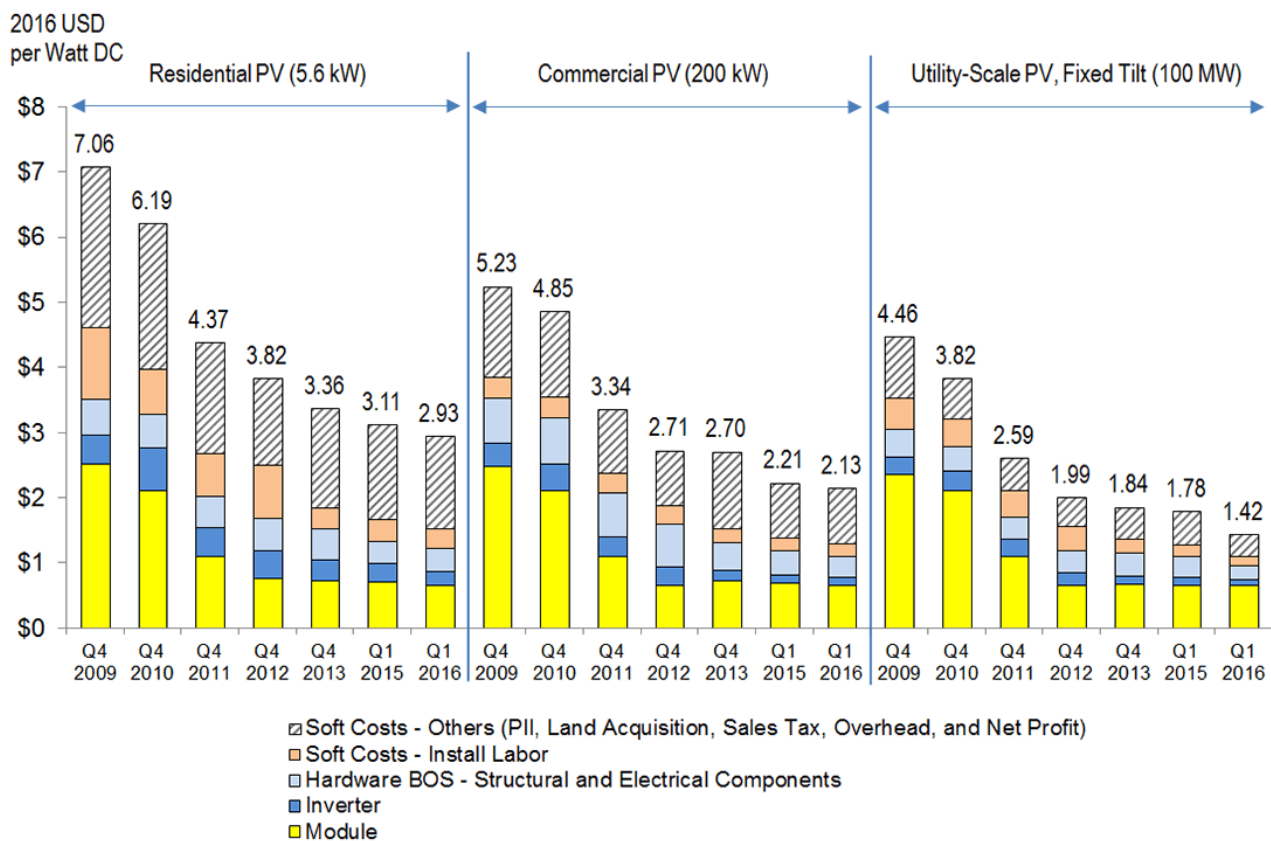


Рис. 19. Динамика цен на солнечные мощности за 1 Вт по статьям расходов.

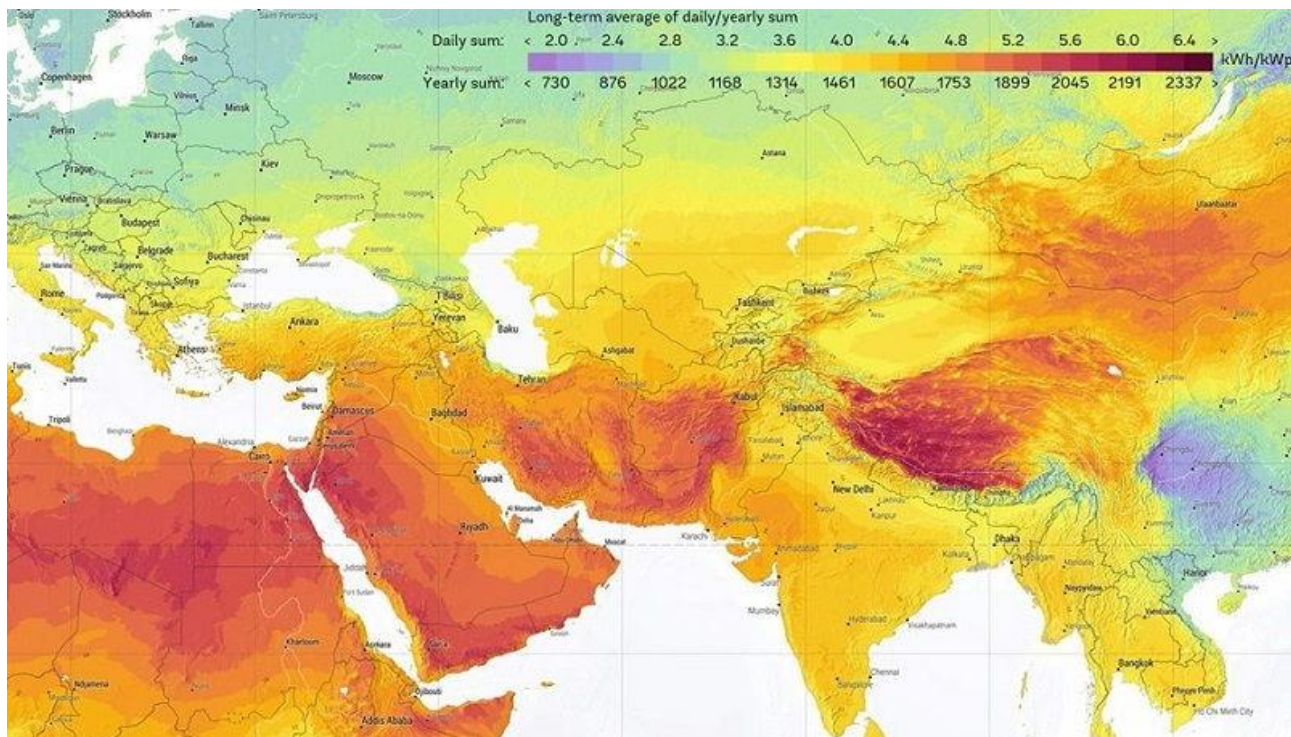


Рис. 20. Потенциал фотоэлектрической энергии (при правильной ориентации солнечных модулей) [16].

Сегодняшние показатели рентабельности для быстрого ветра составляют  $\epsilon 2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ . Транспортировка на тысячу километров – еще  $\epsilon 2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ . При транс-

портировке северной ветроэнергии на 2 тыс. км оптовый тариф в зоне потребления начнётся тоже примерно с  $\phi 3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ . Это серьёзная предпосылка для того, чтобы в первую очередь в южных районах сделать ставку на солнечную генерацию. В остальных случаях нужно сопоставлять риски разрыва снабжения по дальнемагистральным линиям (1-й этап) и более локальной приближенной к потребителям солнечной генерации. Дополнительным аспектом, который может породить конкурентные преимущества солнечной энергии, является, возможно, большая экономия на транспортировке при больших объёмах. В современных условиях солнечная генерация, зависящая и от погодных условий, и от суточного хода, зависит от удалённого сохранения энергии не меньше, чем ветроэнергетические установки. Если технологии хранения на локальных носителях достигнут рентабельности, близкой к  $\phi 1/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  или близкой к этому, то фотоэлектрическая энергия солнечных батарей приобретёт преимущества за счет отсутствия необходимости транспортировки до мест временного хранения, которая потребуется, если доля интегрированной энергии уйдет далеко за 30%. Это может дать выигрыш до  $\phi 1/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  при этих объёмах интеграции возобновляемых источников.

В заключение ещё раз повторим, что реализация такого гипотетического варианта, когда прямо получаемая солнечная энергия выступит технологией, замещающей углеводороды, неизбежно ухудшит перспективы существования за счет экспорта углеводородов, что ещё раз усиливает мотивацию к скорейшему переключению на более высокотехнологичный тип экономики.

## Выводы

Россия – северная страна с огромным расходом энергии на транспорт и на обогрев, а также с весьма энергоёмкой промышленностью. Необходимость государственного стимулирования экономики требует ее загрузки достаточно затратными масштабными проектами.

В России есть районы, где ветроэнергетика сверхрентабельна, в том числе рентабельнее ГЭС и АЭС. По прогнозам Международного энергетического агентства и на основе продемонстрированных на рис. 2 трендов не исключено, что ветрогенерация будет играть очень большую роль в энергетике. Сейчас Россия отстаёт в этом отношении практически от всех стран мира. Для России это мог бы быть важный проект в плане актуального расходования государственных средств. У нас появилась бы возможность дешёвой и почти бесплатной энергии для населения и стимулирования промышленности.

Сверхрентабельность ветроэнергии в больших районах с высокой скоростью ветра позволяет предполагать её развитие сверх 25÷30% уровня генерации, когда впервые начинают требоваться специальные меры для масштабного гидроаккумулирования энергии, сейчас наиболее вероятного в рамках Волго-Камского гидрокаскада. На сегодняшний день суммарная мощность Волжского гидрокаскада около 9 ГВт – это около 5% мощностей России, что позволяет

только частично маневрировать суточной нагрузкой. Теоретически возможно, используя перекрытие зеркал водохранилищ, перемещать десятки кубических километров воды на высоту несколько десятков метров, в частности около  $5\div 7 \text{ км}^3$  примерно на высоту 50 м между крайними водохранилищами гидрокаскада и гораздо большие объёмы на меньшие высоты в середине гидрокаскада. Это позволяет при необходимости полностью заместить всё энергопотребление европейской части России в течение суток. Промежуточный план развития ветроэнергетики и гидроаккумуляции, строго говоря, не требует и может состоять в том, чтобы для начала достичь стандартных 30% вообще без её использования.

На сегодня, чтобы достичь эти 30% ветрогенерации в энергетическом бюджете страны хотя бы через 20 лет, необходимо вводить не менее  $5\div 6 \text{ ГВт}$  мощностей ежегодно с тем, чтобы при стандартном для ветроэнергетики коэффициенте использования мощностей 0,3 полученные  $80\div 100 \text{ ГВт}$  дали 30% генерации в России. Ежегодные затраты при этом могут составлять  $\$5\div 7 \text{ млрд}$ . С нашей точки зрения, это минимальный сценарий. Значительная часть средств на него может быть привлечена из средств фондов используемых для стерилизации валютных излишков, возникающих в процессе поддержания политики низкого курса.

Конкретной мерой могло бы быть предоставление 3-4 наиболее продвинутым производителям ветряков кредита для постройки российского производства, а также установления «тарифа цвета хаки»<sup>7</sup> – тарифа, дающего право передавать электричество потребителю без наценки сетевой компании в объёме до 30% генерации.

#### Литература

1. Renewable energy technologies: Cost analysis series. Volume 1: Power Sector Issue 5/5 Wind Power. – 64 с.

2. Ветровые ресурсы мира  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Global\\_Map\\_of\\_Wind\\_Speed.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Global_Map_of_Wind_Speed.png) и мировой ветровой атлас <https://globalwindatlas.info/>

3. Карта средних скоростей ветра на территории России на высоте 50 метров (NASA) [https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-average-annual-wind-speeds-over-the-territory-of-Russia-at-a-height-of-50\\_fig4\\_265464022](https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-average-annual-wind-speeds-over-the-territory-of-Russia-at-a-height-of-50_fig4_265464022)

4. Стоимость киловатта электроэнергии – EnergyStock  
<http://energystock.ru/analitika/stoimost-elektroenergii>

5. OpenEI Transparent Cost Database  
[http://en.openei.org/wiki/Transparent\\_Cost\\_Database](http://en.openei.org/wiki/Transparent_Cost_Database)

6. Энергетика района Мурманска.  
[http://www.bellona.ru/reports/Energy\\_Kola\\_Peninsula](http://www.bellona.ru/reports/Energy_Kola_Peninsula)

---

<sup>7</sup> Тариф должен учитывать дефицит ветровых (резервных) мощностей в регионе

7. Газопровод как система хранения энергии зависимых от погоды ВИЭ (28.08.12)

[http://www.pennenergy.com/index/power/display/5525536991/articles/pennenergy/power/renewable/2012/august/gas-grid\\_as\\_storage.html?cmpid=EnlDailyPowerAugust232012](http://www.pennenergy.com/index/power/display/5525536991/articles/pennenergy/power/renewable/2012/august/gas-grid_as_storage.html?cmpid=EnlDailyPowerAugust232012)

8. Текущая карта ветров по регионам мира  
<https://www.meteoblue.com/en/weather/map/wind/world>

9. Себестоимость ветроэнергетики.  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика>

10. Текущее распределение ветров в России <http://publicmeteo.ru/wind>

11. Статистика и интерактивная карта ветра по регионам России  
[http://www.atlas-yakutia.ru/weather/wind/karta\\_wind\\_inter.html](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/wind/karta_wind_inter.html)

12. Скорость ветра в зимний период по некоторым регионам СССР  
[http://www.solarhome.ru/biblio/wind/wind\\_speed.htm](http://www.solarhome.ru/biblio/wind/wind_speed.htm)

13. <http://www.megadomoz.ru/article/563/149/>

14. Электрические магистрали будущего. <https://habr.com/ru/post/373395/>

15. Энергосистемы будущего <http://neocarbonenergy.fi/internetofenergy/#>

16. Всемирная карта эффективности солнечных электростанций  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics#/media/File:Global\\_Map\\_of\\_Photovoltaic\\_Power\\_Potential.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics#/media/File:Global_Map_of_Photovoltaic_Power_Potential.png)

17. Солнечная и ветровая энергетика производят самую дешевую электроэнергию <http://renen.ru/solar-and-wind-produce-the-cheapest-electricity-bnef/>

18. Атомная энергия 2.0 <http://www.atomic-energy.ru/news/2016/04/05/64765?page=1>

19. Мирновские ветрогенераторы. м.Тарханут  
<https://geser.livejournal.com/26082.html>

20. Распределение удельного ветропотенциала (Вт/м<sup>2</sup>) на высоте 100 м – из программы развития ЯНАО (Карта 4.4.1.1.) <http://yao.regnews.org/doc/aq/2h.htm>

21. Эконет <https://econet.ru/articles/12594-velikobritaniya-planiruet-ogranichit-vetryanye-elektrostantsii>

22. Повышенная эксплуатационная готовность ветрогенераторов  
<https://www.harting.com/RU/ru/node/215>

23. Наглядная схема с основными данными водохранилищ Волго-Камского гидрокаскада <http://900igr.net/prezentacija/istorija/cheboksarskij-gidrouzel-zamykajuschaja-stupen-volzhsogo-kaskada-180369/volzsko-kamskij-kaskad-gidrouzlov-5.html>

24. Рост альтернативной генерации в Мире  
<https://spydell.livejournal.com/547638.html?format=light>

25. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра над побережьем и шельфом Северо-Восточной части Чёрного моря <https://uhmi.org.ua/pub/np/257/Repetin.pdf>

26. Green Shift to Sustainability [https://www.g20-insights.org/policy\\_briefs/green-shift-sustainability-co-benefits-impacts-energy-transformation-resource-industries-trade-growth-taxes/](https://www.g20-insights.org/policy_briefs/green-shift-sustainability-co-benefits-impacts-energy-transformation-resource-industries-trade-growth-taxes/)

## Содержание

Введение .....	3
Развенчание некоторых мифов .....	4
План изложения.....	8
Себестоимость электроэнергии полученной от ветра.....	9
Краткая теория ветроэнергетики .....	10
Проблемы ветроэнергетики.....	14
Наличие высокопродуктивных для ветрогенерации районов в России .....	16
Аспекты применения ветроэнергетики.....	20
Прямая необходимость .....	20
Военный аспект .....	20
Актуальные темпы развития ветроэнергетики .....	20
Перспективы организации контура тепло-энергосети.....	21
Экономика .....	21
Альтернативы .....	22
Выводы .....	25