

DOI: 10.6084/m9.figshare.11970528

УДК 62-533.6

**Иносков Сергей Викторович**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, [orcid.org/0000-0001-8305-5514](https://orcid.org/0000-0001-8305-5514)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Бондарчук Ольга Вячеславовна**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, [orcid.org/0000-0003-1893-1893](https://orcid.org/0000-0003-1893-1893)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

## ПРОБЛЕМЫ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТИ ПРИ НАЛИЧИИ ПРЕРЫВИСТОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

***Аннотация.** В последнее время в некоторых странах и регионах установленные мощности альтернативной (ветровой и солнечной) энергетики уже достигли существенной доли от общей мощности электросети. Однако, вопреки ожиданиям, во всех этих странах стоимость электроэнергии не уменьшилась, а возросла в несколько раз, несмотря на утверждения о якобы бесплатности источников энергии. При этом вероятность блэкаутов (отключений) в сети возросла в десятки раз. В данной работе анализируются причины указанного явления. Методом анализа является сопоставление на основании обзора публикаций ведущих зарубежных специалистов в области энергетики. Основной проблемой альтернативной энергетики является не удешевление солнечных панелей и ветрогенераторов, а дестабилизирующее влияние прерывистой альтернативной генерации на существующие электросети.*

***Ключевые слова:** альтернативная энергетика; солнечные электростанции; ветровые электростанции; электроэнергия; тариф; прерывистая генерация*

### Постановка проблемы

Глобальные потребности в энергии непрерывно растут, но в скором времени эта тенденция должна столкнуться с исчерпанием мировых запасов углеводородов, что может привести к глобальному энергетическому кризису.

В последние годы большие надежды, в смысле решения глобальной энергетической проблемы, возлагаются на альтернативные (возобновляемые) источники энергии. Ветряные и солнечные электростанции с некоторых пор стали символом альтернативной «экологичной» энергетики.

Апологеты альтернативной энергетики утверждают, что широкое внедрение ветряных и солнечных электростанций резко уменьшит стоимость электроэнергии, так как энергия ветра и солнца якобы бесплатна, и позволит полностью вытеснить традиционные тепловые электростанции. Политики по всему миру требуют перевода своих стран на возобновляемую энергетику, не вдаваясь в детальный анализ последствий.

В последнее время в некоторых странах и регионах (Германия, Дания, Калифорния, Южная Австралия, Испания, Сицилия и т.п.) установленные мощности альтернативной энергетики уже достигли

существенной доли (десятки процентов) от общей мощности энергосети. То есть можно на практике проверить утверждения «зеленых» о снижении цен на электроэнергию.

Однако, вопреки ожиданиям, во всех этих странах, несмотря на огромные государственные дотации в альтернативную энергетику, стоимость электроэнергии не уменьшилась, а возросла в несколько раз (и продолжает расти). Лидеры альтернативной энергетики (Южная Австралия, Германия и т.п.) предлагают тариф в 3 – 4 раза больший, чем «отсталые» страны (типа Болгарии, Франции и т.п.). В мире не существует ни одной страны или территории, в которой высокий уровень внедрения альтернативной «энергетики» сопровождается низкими ценами на электричество для потребителей. При этом вероятность блэкаутов (аварийное отключение всей сети на несколько часов или дней) возрастает в десятки раз. И еще один парадокс. Хотя Германия уже вся уставлена «экологичными» ветряками и солнечными панелями, планируется строительство двадцати новых угольных, крайне «неэкологичных», электростанций. С чего бы это?

В данной работе анализируются причины указанного странного явления, когда достигнутый результат противоположен ожиданиям.

## Анализ последних исследований и публикаций

Имеющиеся публикации содержат противоречивую информацию. С одной стороны, имеется большой массив публикаций, поддерживающих широкое внедрение альтернативной энергетики и прогнозирующих полное вытеснение тепловой генерации ветровыми и солнечными электростанциями [1 – 3]. С другой стороны, в последнее время все более слышны голоса ведущих специалистов в области энергетики, утверждающих, что масштабное внедрение альтернативной энергетики было дорогостоящей ошибкой [4 – 14]. Публикации второго типа убедительны, опираются на детальные расчеты, опыт реального внедрения и статистические данные. Они обычно хорошо документированы и иллюстрированы, что позволяет однозначно объяснить указанное противоречие и прийти к определенным выводам на основании обзора и сопоставления публикаций зарубежных ведущих специалистов в области энергетики. Именно это выполнено в данной статье.

### Цель исследования

Целью исследования является анализ причин странного явления, когда масштабное использование альтернативных источников, якобы бесплатной энергии, сопровождается многократным увеличением тарифов на электроэнергию и резким уменьшением надежности электроснабжения в передовых странах, лидирующих в области внедрения альтернативной (ветровой и солнечной) энергетики. Методом анализа является сопоставление на основании обзора публикаций ведущих зарубежных специалистов в области энергетики.

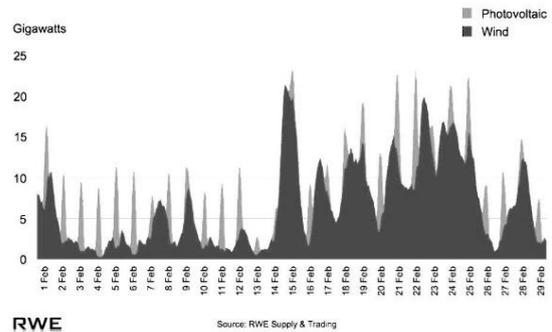
### Изложение основного материала

Основным недостатком альтернативной генерации является ее неуправляемая прерывистость и изменчивость. В качестве иллюстрации ниже приводятся осциллограммы мощности солнечной и ветровой генерации в Германии за февраль и август 2012 года [6; 7].

Максимум солнечной генерации достигается в полдень, ночью генерации нет. Зимой генерация значительно меньше, чем летом. Сильно влияет облачность. Ветровая генерация вообще случайна. Суммарная выработка немецких ветропарков и солнечных полей меняется со скоростью до 16% сек (в процентах от полной установленной мощности). Чем компенсировать такие скачки? Только соответствующими манипуляциями мощностью традиционных электростанций. При этом они будут

вынуждены большую часть времени работать на уровнях нагрузки, близких к холостому ходу. Однако при этом коэффициент полезного действия (КПД) этих станций самый низкий, а регулярное обслуживание оборудования учащается. Количество случаев, когда приходится прибегать к ручному вмешательству для предотвращения развала системы, увеличивается в десятки раз.

German electricity feed-in from wind and solar energy in February 2012 (cumulative)...

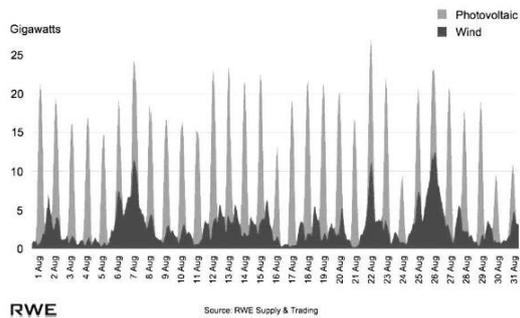


RWE

Source: RWE Supply & Trading

Рисунок 1 – Осциллограммы мощности солнечной (Photovoltaic) и ветровой (Wind) генерации в Германии за февраль 2012 года (в ГВт)

... and in August 2012



RWE

Source: RWE Supply & Trading

Рисунок 2 – Осциллограммы мощности солнечной и ветровой генерации (в ГВт) в Германии за август 2012 года

Следовательно вся солнечная и ветроэнергетика должны иметь 100% резервирование традиционными мощностями, чтобы всё не развалилось, когда в пасмурный день не дует ветер. Это приводит к парадоксу, поскольку весь смысл перехода на возобновляемые источники энергии был именно в обеспечении независимости от углеводородного топлива. А это значит, что рассчитывать стоимость генерации «зеленой» электроэнергии без учета стоимости обслуживания резерва тепловыми станциями (как делается сейчас) – недопустимо. Если учесть стоимость 100% резервирования тепловыми станциями, то вся альтернативная энергетика становится глубоко убыточной, даже в перспективе ее значительного удешевления.

Рис. 3 иллюстрирует структуру традиционного потребления электроэнергии в электросетях [8]. Суточный график производства / потребления энергии можно разделить на две части. Прямоугольник – это базовая нагрузка / потребление сети, стабильное гарантированное потребление. Волна сверху – это пиковая нагрузка / потребление, постоянно изменяющаяся на протяжении дня мощность.

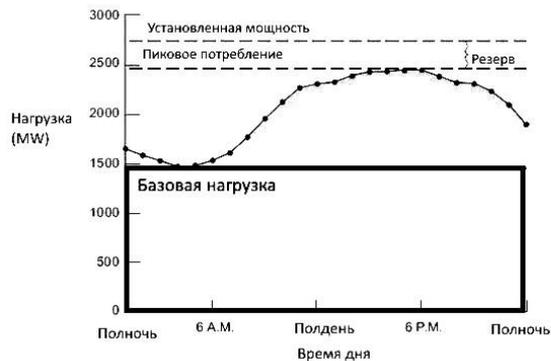


Рисунок 3 – Суточный график производства – потребления электроэнергии

Соответственно необходимо иметь два разных вида генерации.

Генерация, обеспечивающая базовую нагрузку в сети, должна обладать следующими свойствами:

- быть диспетчеризируемой;
- быть способной работать круглые сутки изо дня в день;
- быть максимально дешевой;
- иметь максимальный коэффициент полезного действия (КПД).

Базовой генерации допустимо быть маломаневренной, то есть процесс запуска / остановки может занимать часы или даже дни, а также иметь высокие капитальные затраты.

Таковыми свойствами обладают атомные станции, угольные станции, парогазовые станции, гидроэлектростанции.

Генерация, пригодная для покрытия пиковых нагрузок, должна иметь другие свойства:

- быть диспетчеризируемой;
- быть максимально маневренной, то есть способной за минуты, а иногда и за секунды начать отдавать энергию в сеть и не выходить из строя при столь же стремительном прекращении работы.

При этом себестоимость производства энергии может быть достаточно дорогой, а КПД работы может быть относительно невысоким.

Свойствами пиковой генерации обладают газовые и дизельные турбины открытого цикла, дизельные станции, гидроэлектростанции.

Современная энергосистема выстраивается на разумном сочетании базовой и пиковой генераций.

*Прерывистая альтернативная генерация* (ПАГ) непригодна ни для использования в качестве базовой энергетики, ни для использования в качестве пиковой энергетики. В какой-то момент времени энергия есть, а спустя несколько минут или часов времени энергия резко исчезает. Следовательно, подключение ПАГ к существующей электросети не позволяет ни на йоту уменьшить установленную мощность тепловых электростанций, так как последние должны обеспечивать 100% резервирование. Следовательно после внедрения альтернативных электростанций установленная мощность существующих тепловых электростанций не уменьшится! Более того, ни одну из них нельзя остановить! Попытка уменьшить установленную мощность тепловых электростанций резко увеличивает вероятность блэкаутов (аварийных выключений всей сети). Более того, структура тепловых электростанций меняется неблагоприятно. Уменьшается мощность базовой (дешевой) генерации и увеличивается мощность пиковой (дорогой) генерации. Более того, уменьшается коэффициент использования тепловых электростанций. Тепловые электростанции работают при неполной загрузке, с низким КПД и большими потерями, с быстрыми скачками мощности.

Основная проблема заключается не в снижении стоимости солнечных панелей и ветрогенераторов, а в негативном влиянии ПАГ на существующую электросеть. Общие расходы системы возрастают на весь объем капитальных и эксплуатационных расходов альтернативной энергетики, плюс расходы на ее резервирование, а снижаются только за счет частичной экономии топлива. До тех пор, пока доля ПАГ в сети не превышала нескольких процентов, вред для системы был незначителен и мог игнорироваться. Но когда доля ПАГ в энергобалансе превышает 15 – 20%, то затраты начинают возрастать многократно и столь же многократно падает надежность системы.

Сопутствующие расходы на резервирование оказываются настолько значительными, что экономическими, рыночными методами невозможно заставить существующую электросеть подключить к себе реально убыточную альтернативную электростанцию. Поэтому апологетами «зеленой» энергетики используются исключительно принудительные, нерыночные, административные, законодательные механизмы для внедрения альтернативной энергетики. При этом делаются попытки создать иллюзию прибыльности такого подключения за счет переноса части дополнительных расходов (связанных с резервированием и других) на существующую электросеть, на государственный бюджет или на соседние регионы. Вот некоторые приемы, которые при этом используются [9].

*Выделение государственных субсидий, выгодных кредитов, дотаций, премий и т.п. на компенсацию капитальных затрат альтернативной энергетики. Эти затраты не включаются в текущую стоимость электроэнергии, а списываются на науку или переносятся в будущее (кредиты). Например, в Германии ЕЕГ-налог (акциз на электроэнергию, направляемый на развитие альтернативной энергетики) рос с ускорением (рис. 4). В 2013 году он составлял 5,28 центов за кВт·ч на каждого потребителя. В сумме это – 13,3 миллиарда евро. Данные взяты из лекции известного немецкого экономиста – Ханса-Вернера Зинна «Энергетический поворот в никуда», прочитанной им 16 декабря 2013 года в Мюнхенском университете Людвиг-Максимилиана [10].*

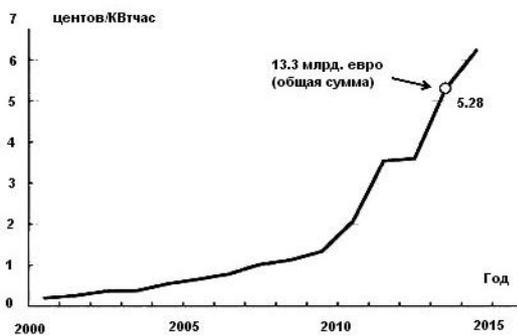


Рисунок 4 – Рост налога на развитие альтернативной энергетики в Германии

*Обязательное подключение.* Существующая электросеть обязана законом подключить к себе любую альтернативную электростанцию (например, солнечные панели на крыше у фермера) независимо от удаленности ее расположения. Более того, все расходы по прокладке новой линии ложатся на электросеть (так в Германии).

*Обязательная покупка электроэнергии.* Существующая электросеть обязана купить всю электроэнергию, вырабатываемую альтернативной электростанцией в любое время, независимо от потребности. Например, в полдень летом излишки солнечной энергии не нужны. Но вся эта энергия должна быть куплена. За счет чего? Тепловая электростанция должна резко снизить нагрузку и работать в убыток, с низким КПД и низкой выработкой. Все эти убытки списываются (как ни парадоксально) не на альтернативную электростанцию, а на тепловую! Якобы «бесплатная» альтернативная электроэнергия имеет приоритет и должна быть всегда допущена в сеть, даже если для этого придется останавливать станции базовой генерации.

*Компенсация за непотребленную энергию.* Если электросеть физически не может потребить избыток альтернативной энергии на пике ее выработки, она

все равно обязана заплатить за эту пропавшую, но потенциально возможную энергию. Так, Англия выплачивает сотни миллионов фунтов в год за непотребленную пиковую энергию ветроэлектростанций Шотландии. Германия выплатила за год ветростанциям компенсацию более 500 миллионов долларов за непотребленную и потерянную пиковую энергию [11].

*«Зеленый» тариф.* Электросеть обязана покупать альтернативную электроэнергию по «зеленому» тарифу, во много раз превышающему рыночный тариф продажи электроэнергии. Этот финансовый абсурд позволяет, в принципе, купить энергию из сети и тут же продать обратно в несколько раз дороже [12].

*Плата за экологичность.* Потребителям предлагается отказаться от услуг стандартной энергетической компании и получать «экологически чистое электричество». Причём получателя электричества информируют, что ему придётся платить больше. Хотя на деле поставка осуществляется из той же электросети, в которой доля альтернативной энергии незначительна.

*Длительные контракты.* Закон предписывал энергетическим компаниям заключать договоры на поставку «зеленой» электроэнергии на длительный срок, до 20 лет, с фиксированием цены на момент заключения договора. В результате в Германии по контрактам 5–10 летней давности солнечная энергия продолжает выкупаться по старым сверхвысоким «зеленым» тарифам и это будет продолжаться еще как минимум 15 лет. Попытки европейских государств снизить давление «зеленых» тарифов на свою экономику встретили противодействие в инвестиционном арбитраже. Международное право негативно относится к изменениям правил задним числом.

*Выделение земельных участков.* Альтернативные электростанции требуют больших площадей дефицитной земли (например, для солнечной электростанции мощностью 1 ГВт это может быть несколько десятков квадратных километров). Все это оформляется на льготных условиях. Стоимость земли не входит в стоимость электроэнергии.

*Резервирование за счет соседей.* Для энергосистемы любой страны очень дорого обходятся двойные расходы на создание и поддержание дополнительной структуры пиковой генерации, поэтому на Западе очень модно развивать у себя ПАГ-энергетику, а проблемы по резервированию перекладывать на соседние (зависимые) страны. При этом дотации получают альтернативные энергетики в «зеленой» стране, а традиционные энергетики у соседей несут убытки и расходы. Такая стратегия развития настолько удобна,

что именно ее в настоящее время стараются использовать все страны-лидеры использования ПАГ. Германия пытается решать проблемы балансировки пилы производства альтернативной энергии, скидывая ее на Польшу, Чехию и Голландию. В основном страдают именно эти три страны, так как они соединены магистралями с севером Германии, основным регионом ПАГ-генерации. Проблема стоит настолько остро, что соседи либо уже установили, либо требуют установки трансграничных блокираторов, которые должны их защищать от разрушительного притока «бесплатной» энергии.

И это далеко не полный перечень [12].

Указанные меры приводят к банкротству тепловых электростанций с катастрофическими последствиями для энергосистемы. Кажущаяся их убыточность вызвана тем, что тепловой генерации не дают работать в нормальном (базовом) режиме с высоким коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ), не дают государственных дотаций и льгот, как альтернативной энергетике, облагают многочисленными налогами, например, налог за выброс углекислого газа. В соответствии с текущей моделью финансирования ветровой и солнечной генерации, тепловые станции становятся убыточными, хотя они являются незаменимыми резервирующими мощностями для альтернативной энергетики. Рано или поздно такие станции закрываются, поскольку их техническое обслуживание формально нерентабельно, и в результате энергосистема остается без станций базовой генерации. Пока не существует схемы ценообразования, которая бы компенсировала традиционным электростанциям услуги резервирования.

Наиболее остро проблемы альтернативной энергетики проявились в штате Южная Австралия (рис. 5), где «зеленые» лоббисты довели долю солнца и ветра в установленной мощности до 50%. На это было потрачено 70 млрд долларов в виде субсидий, что составляет сумму, которой хватило бы на строительство 12 новых угольных электростанций. Но случилась странная вещь. Цена на электричество в штате выросла и продолжает расти [13].

Южная Австралия перешла от ситуации с самым дешевым электричеством в мире, к ситуации с самым дорогим. Потребители уже платят в 4 раза больше (последние данные 2019 года не отражены на графике), чем ранее (а коммерческие потребители – в 5 – 10 раз), и будут платить ещё больше. Попытка развернуть тенденцию снятием налога за выброс углекислого газа (carbontax) с тепловых электростанций дала только временный эффект (рис. 4).

Как и в других регионах, дотирующих альтернативную генерацию, тепловая генерация стала неконкурентоспособной, что повлекло закрытие или консервацию ряда газовых и угольных электростанций. Компаниям нет смысла и возможности эксплуатировать угольные станции (хотя Австралия имеет богатые запасы дешевого угля и является его крупным экспортером), так как пришлось бы их останавливать каждый день в полдень, и несколько раз в сутки, когда ветер изволил подуть. Из-за отсутствия стопроцентного резервирования альтернативной энергетики, регион стал регулярно испытывать блэкауты (до двух суток).

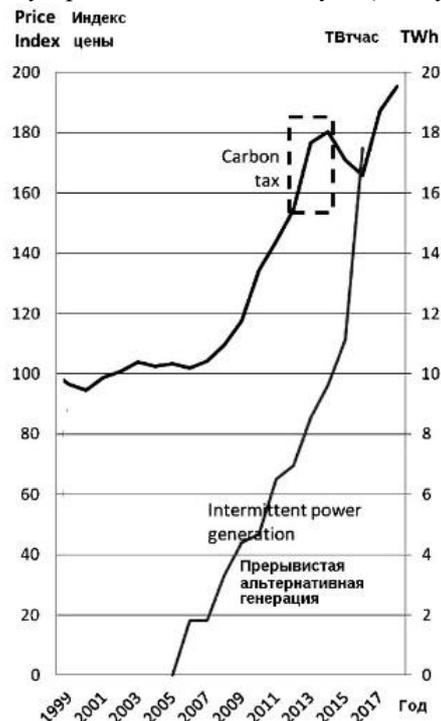


Рисунок 5 – Рост стоимости электроэнергии в Южной Австралии (верхний график) по мере роста альтернативной генерации (нижний график)

Например, 28 сентября 2016 весь штат Южная Австралия во время шторма остался без электроснабжения. Скорость ветра достигала 140 км/ч, и ветрогенераторы пришлось остановить. В Аделаиде остановилась железная дорога и метрополитен, отменили авиарейсы, а на улицах города возникли проблемы со светофорами. Многие люди застряли в лифтах. 29 сентября без света оставались тысячи домов. Производитель алюминия Tomago был вынужден трижды останавливать свои плавильные линии из-за нехватки энергии. Оборудование испорчено не было, так как каждый раз линии удавалось запустить до застывания алюминия в плавильных печах. На обычное отключение жилья от электроэнергии уже просто не обращают внимания. Но то, что энергетики пошли на отключение производства непрерывного цикла (алюминиевых заводов), это уже катастрофа.

Аналогичные проблемы испытывает Германия – лидер движения к «зеленой» энергетике в Европе. Одновременно Германия еще и лидер по ценам на электричество для потребителей. Средний немец платит 45 евроцентов за киловатт-час. Средний американец платит только 15 центов за киловатт-час.

Стимулирование развития «экологически чистых» ветряков и солнечных электростанций привело к парадоксальной ситуации. В стране строятся и проектируются два десятка «грязных» угольных электростанций, необходимых для резервирования. Уголь уже обеспечивает 44% электроэнергии. Выбросы углекислого газа в атмосферу реально увеличились.

Раньше Германию выручала экологичная атомная генерация, на которую приходилось до трети всей вырабатываемой в стране электроэнергии. Но после трагедии на японской АЭС «Фукусима» в 2011 году власти под давлением «зеленых» приняли решение о поэтапном отказе от ядерной энергетики.

Энергосистема Германии 15 лет назад была самой стабильной в мире. Но эта стабильность уже забыта, благодаря взлету «зеленых» технологий. Немецкая энергосистема «ежедневно работает на пределе». В среднем каждый день в Германии происходит 473 отключения. Граждан уже призывают считать отключения нормальным явлением. У многих возникает представление, что прожить без электричества в течение 30 минут не является проблемой. Скоропортящиеся продукты в холодильнике не пострадают. Но такое отключение электроэнергии является чрезвычайно дорогостоящим для промышленности. Например, менеджер компании Hajo Nagens сообщил, что отключение электроэнергии стоило его компании около полумиллиона евро, и потребовался целый день, чтобы восстановить производство и запустить его снова и настроить так, как это должно быть. Производитель стекла Schott сообщил, что убытки измеряются в «миллионах евро». А нестабильность напряжения и частоты стала такова, что прокатные станы, металлургия, точное машиностроение крепко задумались перебраться в другие, не столь успешные в «зеленой» энергетике страны. Промышленность не может перестроиться на работу в режиме прерывистой генерации.

Существует гипотетическая возможность сгладить ПАГ с помощью гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). На сегодня это единственная отработанная технология аккумулирования электроэнергии в промышленных масштабах. В насосном режиме ГАЭС, потребляя избыточную энергию от сети, перекачивает воду из нижнего питающего водохранилища в верхний аккумулирующий бассейн (зарядка станции). В турбинном режиме ГАЭС работает в часы нехватки

энергии. Расходуя воду из верхнего бассейна, она генерирует электроэнергию в сеть (разрядка станции). ГАЭС имеет КПД от 60 до 70%. То есть 30 – 40% энергии теряется.

Немецкий экономист Ханс-Вернер Зинн рассчитал необходимое количество ГАЭС для выравнивания альтернативной генерации (ветро- и гелиостанций) Германии [10]. Чтобы полностью сгладить неравномерность альтернативной генерации, Германии понадобится 3270 ГАЭС (сейчас их всего 35 штук). При этом гарантируется сглаженная мощность 6.7 ГВт (при расчетной установленной мощности 50 ГВт). Но можно применить частичное выравнивание. Если мы хотим получить гарантированно 4,1 ГВт от солнечной и ветровой энергетики Германии, то потребуется только 437 ГАЭС (рис. 6).

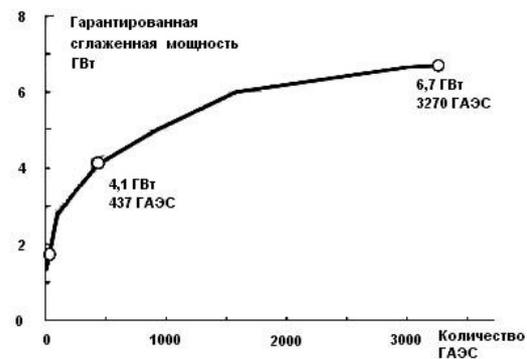


Рисунок – 6 Зависимость гарантированной сглаженной мощности солнечных и ветровых станций от количества ГАЭС для Германии

Но совершенно нереально осуществить даже это. Необходим подходящий горный и гидрологический рельеф, большая территория, очень большие затраты. Стоить это будет 96 миллиардов евро, как 32 новых атомных электростанций (АЭС). Следовательно, чтобы отказаться от трех АЭС и заменить их возобновляемой энергией, понадобится в 10 раз больше затрат. Цена такого решения оказывается неприемлемой.

Все остальные варианты аккумулирования электроэнергии в промышленных масштабах еще дороже. В Южной Австралии была предпринята уникальная попытка ослабить искусственно созданную проблему ПАГ с помощью химических аккумуляторов. В Джеймстауне в 2017 году компания Tesla установила самую большую в мире батарею литий-ионных аккумуляторов стоимостью 150 млн долларов с номинальной мощностью 100 МВт и энергетической емкостью 129 МВт·час [14]. Хотя батарея занимает по площади большое поле, уставленное металлическими шкапами, запас энергии соответствует лишь четырем минутам генерации электросети. Срок службы литий-ионного аккумулятора ограничен 3000 циклами заряд-разряд.

В условиях эксплуатации ветряных и солнечных электростанций этот ресурс может исчерпаться за 5 – 7 лет. Утилизация использованных аккумуляторов не только опасна для здоровья и экологии, но и сопряжена с огромными расходами.

### Выводы

1. Основным недостатком альтернативной генерации (ветровой или солнечной) является ее неуправляемая прерывистость и изменчивость. Подключение альтернативных электростанций к существующей электросети не позволяет уменьшить установленную мощность тепловых электростанций, так как последние должны обеспечивать 100% резервирование потребления. При этом структура тепловых электростанций меняется неблагоприятно. Уменьшается мощность базовой (дешевой) генерации и увеличивается мощность пиковой (дорогой) генерации.

Кроме того, уменьшается коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) тепловых электростанций. Тепловые электростанции работают при неполной загрузке, с низким коэффициентом полезного действия (КПД) и большими потерями, с быстрыми скачками мощности.

2. Сопутствующие расходы на резервирование настолько значительны, что экономическими рыночными методами невозможно заставить

существующую электросеть подключить к себе реально убыточные альтернативные электростанции. Поэтому используются исключительно принудительные, нерыночные, административные, законодательные методы для внедрения альтернативной энергетики. При этом все расходы по оказанию услуг резервирования (а также ряд других) переносятся на существующую электросеть или бюджет государства, или соседние регионы. Последствия всего этого, как показывает опыт «передовых» стран, оказываются разрушительными для энергосистемы.

3. В мире пока не существует ни одной страны или территории, в которой высокий уровень внедрения (10 – 40% установленной мощности), якобы «бесплатной» альтернативной энергетики, сопровождался бы снижением цены на электричество для потребителей. Наоборот, в таких странах тариф увеличивается в три–четыре и более раз, а вероятность блэкаутов (обесточивание сети) возрастает в десятки раз с огромными убытками в непрерывных технологических производствах.

Существует гипотетическая возможность сгладить прерывистую альтернативную генерацию с помощью гидроаккумулирующих электростанций. На сегодня это единственная отработанная технология аккумулирования электроэнергии в промышленных масштабах. Однако цена такого решения оказывается неприемлемой.

### Список літератури

1. Мисакій С., Возняк О. Т., Дацько О. С., Шаповал С. П. *Сонячна енергетика: теорія та практика : монографія; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.*
2. Кудря С. О., Дресвянников В. Г. *Вітроенергетика // Енциклопедія сучасної України : у 30 т. / ред. кол. І. М. Дзюба [та ін.] ; НАН України, НТШ, Координаційне бюро енциклопедії сучасної України НАН України. – К., 2003 – 2016.*
3. Стеценко І. В., Зав'ялець Ю. А. *Дослідження ефективності впровадження альтернативних джерел електроенергії // Управління розвитком складних систем. – № 25, 2016. – С. 172 – 177.*
4. Иносов С. В., Соболевская Л. Г., Чернявский О. В. *Исследование энергетической эффективности автономного автоматизированного ветроэлектрического генератора для индивидуального жилья, управління розвитком складних систем. – № 8, 2011, – С. 128 – 132*
5. Иносов С. В., Бондарчук О. В. *Исследование энергетической эффективности автономной автоматизированной солнечной электростанции для индивидуального жилья. // Управління розвитком складних систем. – № 11. – 2012. – С. 122 – 125*
6. Dr. Frank-Detlef Drake, Dr. Burkhard Pahnke. *Impact from increasing share of renewable energy. The German 'Energiewende': Challenges and options (conference). Paris, March 7th, 2014. <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2354318/data/2680770/2/rwe/investor-relations/events/roadshows-and-conferences/2014/RWE-The-German-Energiewende-2014-03-07.pdf>*
7. Таланов Д. *Инженерные расчёты: холодный душ для «зелёной» энергетики. 5 февраля, 2018.*
8. <https://www.kramola.info/vesti/novosti/inzhenernye-raschyoty-holodnyy-dush-dlya-zelyonoy-energetiki>.
9. Безгин С. *Влияние ВИЭ на стабильность энергосистем. Народный Корреспондент/технологии, 17.04.2018. <https://nk.org.ua/tekhnologii/vliyanie-vie-na-stabilnost-energosisistem-140934>.*
10. Ряполов К. *Чем страшна «темная сторона» альтернативной энергетики. СЕГОДНЯ. 5 ноября 2014. <https://www.segodnya.ua/lifestyle/fun/chem-strashna-temnaya-storona-alternativnoy-energetiki-566681.html>*
11. Hans Werner Sinn – *Energiewende ins Nichts am 16.12.2013. <https://www.youtube.com/watch?v=m2eVYWVLTwE&feature=youtu.be>*

12. Andrew Follett. *Germany Facing Mass Blackouts Because The Wind And Sun Won't Cooperate*. *The Daily Caller*, February 28, 2017. <https://dailycaller.com/2017/02/28/germany-facing-mass-blackouts-because-the-wind-and-sun-wont-cooperate/>

13. Kris De Decker. *How Not to Run a Modern Society on Solar and Wind Power Alone*. *Lowtechmagazine* № 9, 2017. <https://www.lowtechmagazine.com/2017/09/how-to-run-modern-society-on-solar-and-wind-powe.html>.

14. *Australia's Renewable Energy Target Delivers Highest Power Prices in the World*. September 13, 2017 by *stopthesethings*. <https://stopthesethings.com/2017/09/13/australias-renewable-energy-target-delivers-highest-power-prices-in-the-world>.

15. *Donn Dears. Insane Storage Cost Mean Batteries No Solution to Chaotic Wind Power Delivery*. February 09, 2019 by *stopthesethings*. <https://stopthesethings.com/2019/02/09/insane-storage-cost-mean-batteries-no-solution-to-chaotic-wind-power-delivery/>

Стаття надійшла до редколегії 20.10.2019

### **Іносов Сергій Вікторович**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів, [orcid.org/0000-0001-8305-5514](https://orcid.org/0000-0001-8305-5514)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

### **Бондарчук Ольга Вячеславівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів, [orcid.org/0000-0003-1893-1893](https://orcid.org/0000-0003-1893-1893)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## **ПРОБЛЕМИ ЗБАЛАНСОВАНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ЗА НАЯВНОСТІ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

**Анотація.** *Останнім часом в деяких країнах і регіонах встановлені потужності альтернативної (вітрової та сонячної) енергетики вже досягли суттєвої частини від загальної потужності електромережі. Але, всупереч сподіванням, у всіх цих країнах вартість електроенергії на зменшилась, а зросла в декілька разів, всупереч твердженням про нібито безкоштовність джерел енергії. При цьому вірогідність блекаутів (відключень) в мережі зросла в десятки разів. В роботі аналізуються причини вказаного явища. Методом дослідження є огляд і співставлення публікацій провідних іноземних спеціалістів в галузі енергетики. Основною проблемою альтернативної енергетики виявляється не здешевлення сонячних панелей та вітрогенераторів, а дестабілізуючий вплив переривчастої альтернативної генерації на наявні електромережі.*

**Ключові слова:** *альтернативна енергетика; сонячні електростанції; вітрові електростанції; електроенергія; тариф; переривчаста генерація*

### **Inosov Sergei**

Associate professor, Department of Process Automation, [orcid.org/0000-0001-8305-5514](https://orcid.org/0000-0001-8305-5514)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

### **Bondarchuk Olga**

Associate professor, Department of Process Automation, [orcid.org/0000-0003-1893-1893](https://orcid.org/0000-0003-1893-1893)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

## **BALANCE PROBLEMS OF ELECTRICAL NETWORKS IN THE PRESENCE OF AN INTERMITTENT ALTERNATIVE GENERATION**

**Abstract.** *Lately, in some countries and regions, the installed capacity of alternative (wind and solar) generation has already reached a significant share of the total capacity of the grid. However, contrary to expectations, there is not a single country or territory in the world, in which high level of implementation (10-40% of installed capacity) of supposedly "free" alternative energy would be accompanied by a decrease in the price of electricity for consumers. On the contrary, in such countries the tariff increases three to four times or more, and the probability of network blackouts increases by an order of magnitude, with huge losses in continuous technological processes. There is already noticeable slowdown in the introduction of new alternative energy power plants. This paper analyzes the causes of this phenomenon. The method of analysis is the review and comparison of publications of leading foreign experts in the field of energy generation. The main problem turns out to be not in reducing the cost of solar panels and wind generators, but in the destabilizing effect of alternative generation on the existing power grid. The main disadvantage of alternative generation is its uncontrollable discontinuity.*

**Keywords:** *alternative generation, solar power stations, wind power stations, electrical energy; tariff; intermittent generation*

## References

1. Misak, J.S., Vozniak, O.T., Datsko, O.S., & Shapoval, S.P. (2014). *Solar energy: theory and practice: monograph*. Ministry of Education and Science of Ukraine. Lviv Polytechnic National University, 340.
2. Kudrya, S.O., & Dresvyannikov, V.G. (2016). *Wind power engineering*. Encyclopedia of modern Ukraine: 30 volumes / ed. count Dzyuba I.M. [and others]. National Academy of Sciences of Ukraine, NTSh, Coordination Office of the Encyclopedia of Modern Ukraine of the National Academy of Sciences of Ukraine.
3. Stetsenko, I., & Zav'yalets, J. (2016). *Research of efficiency of implementation of alternative energy sources*. Complex systems development management, 25, 172-177.
4. Inosov, S.V., Sobolevskaya, L.G., & Chernyavsky, O.V. (2011) *The study of the energy efficiency of an autonomous automated wind-electric generator for individual housing*. Management of complex systems development, 8, 128-132.
5. Inosov, S.V., Bondarchuk, O.V. (2012). *The study of the energy efficiency of an autonomous automated solar power plant for individual housing*. Management of complex systems development, 11, 122-125.
6. Drake, Frank-Detlef. (2014). *Impact from increasing share of renewable energy*. The German 'Energiewende'. Paris: March 7th, <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2354318/data/2680770/2/rwe/investor-relations/events/roadshows-and-conferences/2014/RWE-The-German-Energiewende-2014-03-07.pdf>
7. Talanov, D. (2018). *Engineering calculations: a cold shower for "green" energy*. <https://www.kramola.info/vesti/novosti/inzhenernye-raschyoty-holodnyy-dush-dlya-zelyonoy-energetiki>.
8. Bezgin, S. (2018). *The impact of renewable energy on the stability of power systems*. Peoples Correspondent/technologies, <https://nk.org.ua/tehnologii/vliyanie-vie-na-stabilnost-energosisistem-140934>.
9. Ryapolov, K. (2014). *What is scary "darkside" of alternative energy*. <https://www.segodnya.ua/lifestyle/fun/chem-strashna-temnaya-storona-alternativnoy-energetiki-566681.html>
10. Sinn, Hans Werner. (2013). *Energi ewendeins Nichts am 16*. <https://www.youtube.com/watch?v=m2eVYWVltwE&feature=youtu.be>
11. Follett, Andrew. (2017). *Germany Facing Mass Blackouts Because The Wind And Sun Won't Cooperate*. The Daily Caller. <https://dailycaller.com/2017/02/28/germany-facing-mass-blackouts-because-the-wind-and-sun-wont-cooperate/>
12. De Decker, Kris. (2017). *How Not to Run a Modern Society on Solar and Wind Power Alone*. Lowtechmagazine, 9. <https://www.lowtechmagazine.com/2017/09/how-to-run-modern-society-on-solar-and-wind-powe.html>.
13. *Australia's Renewable Energy Target Delivers Highest Power Prices in the World*. September 13, 2017 by stopthesethings. <https://stopthesethings.com/2017/09/13/australias-renewable-energy-target-delivers-highest-power-prices-in-the-world>.
14. Donn Dears. *Insane Storage*. (2019). *Cost Mean Batteries No Solution to Chaotic Wind Power Delivery*. February, 09, by stopthesethings. <https://stopthesethings.com/2019/02/09/insane-storage-cost-mean-batteries-no-solution-to-chaotic-wind-power-delivery/>

## Ссылка на публикацию

APA Inosov, Sergei & Bondarchuk, Olga, (2019). *Balance problems of electrical networks in the presence of an intermittent alternative generation*. Management of Development of Complex Systems, 39, 216 – 224; [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11970528](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11970528).

ГОСТ Иносов С.В. Проблемы сбалансированности электро сети при наличии прерывистой альтернативной генерации [Текст] / С.В. Иносов, О.В. Бондарчук // Управление развитием сложных систем. – 2019. – № 40. – С. 216 – 224, [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11970528](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11970528).