

**ВИШНЕВСКИЙ**  
**Арсений Романович**

бакалавриат, Петрозаводский государственный университет  
(Петрозаводск, Россия),  
[arseniyvi2002@gmail.com](mailto:arseniyvi2002@gmail.com)

## СОЗДАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ

### Научный руководитель:

Петрушин Денис Евгеньевич

Статья поступила: 05.07.2023;

Принята к публикации: 28.09.2023;

Размещена в сети: 30.09.2023.

**Аннотация.** В статье рассматривается один из способов повышения эффективности функционирования и обеспечения устойчивого энергоснабжения децентрализованных энергосистем с минимизацией их опасного воздействия на окружающую среду в случае возникновения аварийных ситуаций природного и техногенного характера. Цель исследования - поиск вариантов решения проблемы энергообеспечения потребителей в территориально изолированных районах; задача - предложить такую систему электроснабжения, с помощью которой повысится надёжность и качество энергоснабжения территориально изолированных районов.

**Ключевые слова:** децентрализованное электроснабжение, возобновляемые источники энергии, резонансный ветрогенератор, гравитационная батарея, ветроустановки воздушного базирования

**Для цитирования:** Вишнеvский А. Р. Создание гибридной электростанции как способ повышения надёжности и качества электроснабжения территориально изолированных районов // StudArctic Forum. 2023. Т. 8, № 3. С. 98–105.

Сегодня большинство людей не могут представить себе жизнь без электричества. Помимо удобства, оно обеспечивает работу важных объектов: больниц, сооружений гражданской обороны, школ, детских садов, промышленных предприятий. Но существуют места, куда невозможно или нерентабельно тянуть провода от основной магистрали. Кроме того, даже в надёжной и современной системе могут происходить сбои. Именно поэтому целью исследования является поиск вариантов решения проблемы энергообеспечения потребителей в территориально изолированных районах. В статье приведён обзор технологий, которые могут способствовать повышению эффективности функционирования и обеспечения устойчивого энергоснабжения децентрализованных энергосистем.

Большая часть территорий Российской Федерации (около 60-65 %) не обеспечена централизованным электроснабжением [Сулов : 7]. Территориально изолированные районы находятся преимущественно в северной части страны: Камчатский край, Магаданская и Сахалинская области, Чукотский автономный округ и другие. Они характеризуются весьма низкими показателями эффективности, надёжности электроснабжения и качества электроэнергии.

Системы электроснабжения территориально изолированных районов отличаются

существенными особенностями:

1) суровые природно-климатические условия: от низкой температуры окружающей среды и наличия вечной мерзлоты до специфического рельефа местности;

2) преобладание малонаселённых пунктов, малоосвоенность территорий. В связи с преобладанием большой площади территорий с низкой плотностью электрических нагрузок, малонаселённых пунктов, переход к централизованному электроснабжению потребует существенных капиталовложений, а также будет крайне неэффективным, так как электростанции будут работать в режиме, близком к холостому ходу. В результате передача энергии будет сопровождаться большими энергетическими потерями, вследствие роста напряжения до недопустимых значений и генерации линиями значительного количества зарядной мощности;

3) невысокий технический уровень энергохозяйства, вызванный сильным износом оборудования, что приводит к низким экономическим характеристикам энергоисточников;

4) в настоящее время энергетика территориально изолированных районов, как правило, базируется на дальнепривозном топливе-дизеле, которое завозится из других субъектов страны по сложным логистическим схемам, что приводит к увеличению как стоимости, так и сроков доставки.

С течением времени требования к надёжности электроснабжения и качеству электроэнергии у промышленных и бытовых потребителей возрастают. Следовательно, необходимо развивать и модернизировать территориально изолированные районы, внедряя инновационные технологии.

Одним из наиболее перспективных направлений такого развития является создание гибридной электростанции с использованием нескольких синхронизованных источников генерации электроэнергии, включая возобновляемые источники с высоким замещением использования дизельного топлива, на 50 % и более, и высокой степенью автоматизации, что позволит снизить эксплуатационные расходы не менее чем на 25 % [Огунлана : 68]. Это не только привело бы к сохранению источника постоянной генерации электроэнергии, но и позволило бы снизить поставки дизельного топлива в территориально изолированные регионы и сделать производство энергии более экологичным.



Рис. 1. Недостатки лопастных ветрогенераторов

В качестве возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) можно использовать

лопастные ветрогенераторы, но они, несмотря на все свои преимущества, имеют массу недостатков, представленных на рисунке 1.

В связи с указанными недостатками предлагается использовать в гибридной электростанции устройства нового типа - резонансные ветрогенераторы.

Для резонансных ветрогенераторов не нужны ни лопасти, ни мачты, ни сильные ветра. Резонансный ветрогенератор, изображённый на рисунке 2, представляет собой турбину, состоящую из внешнего цилиндра, который надёжно зафиксирован только в основании. Под действием воздушных потоков верхняя часть цилиндра свободно покачивается из стороны в сторону, подобно антенне на ветру. При этом, когда ветер проходит через конструкцию конусообразной формы, вокруг неё по законам аэродинамики образуется завихрение воздуха, круговые вихревые потоки. Согласно явлению механического резонанса, частота собственных колебаний системы совпадает с частотой внешней силы, действующей на систему, круговых вихревых потоков, что приводит к резонансу - резкому увеличению амплитуды колебания. Генератор в основании цилиндра преобразует механическую энергию в электрическую путём вращения проволочной катушки в магнитном поле [Винокурова : 47-49].

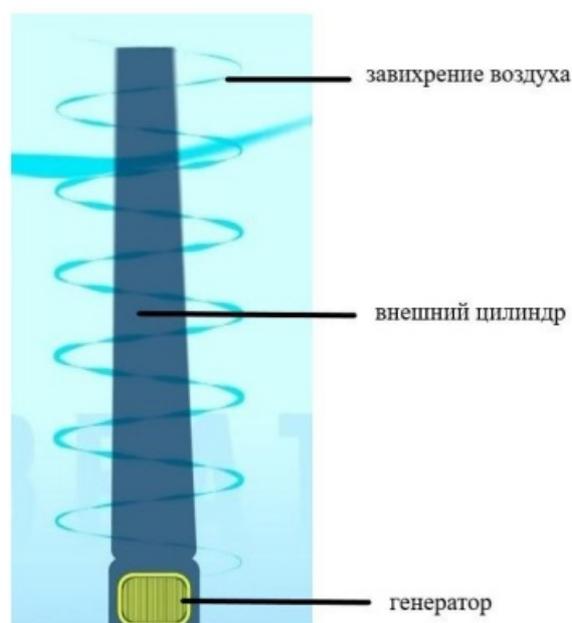


Рис. 2. Резонансный ветрогенератор

Конструкция построена с применением армированных углеродом и стекловолокном полимеров, а также прочных и лёгких материалов, используемых в обычных ветряных турбинах. Её особенности позволяют ветрогенератору долго не изнашиваться, а также минимизируют потери энергии при колебаниях. В ней практически не используются подвижные элементы вроде шестерней, зубчатых колёс, валов и всё тех же лопастей, так что производство будет обходиться как минимум вдвое дешевле. В силу тех же причин, а также отсутствия необходимости применения смазочных материалов, стоимость технического обслуживания будет сокращена на целых 80 % по сравнению с лопастными ветрогенераторами<sup>1</sup>. Кроме того, инновация создаёт гораздо меньше шума при работе, что немаловажно ввиду негативного влияния низкочастотных шумов современных ветряных электростанций на здоровье человека и животных, а отсутствие лопастей устраняет угрозу для птиц. Выделение парниковых газов при производстве резонансных ветрогенераторов на 40 % ниже, чем при производстве лопастных ветроустановок. Компактность такой установки

позволяет устанавливать целые поля ветрогенераторов на минимальном расстоянии друг от друга, что абсолютно невозможно в случае с классическими ветроэлектрическими установками с лопастями. Впрочем, получить ещё больше энергии можно в том случае, если поднять турбину на большую высоту. Самая большая ветроустановка в мире имеет высоту около 240 метров и мощность около 4 МВт.

А что будет, если поднять турбину на 600 метров, где скорость ветра в разы выше?

Идея заключается в том, чтобы использовать летательный аппарат, представленный на рисунке 3, в качестве базы для установки турбины, в состав которого входит лёгкий генератор и полуболобка, наполненная гелием. Внешне он напоминает дирижабль с турбиной внутри.

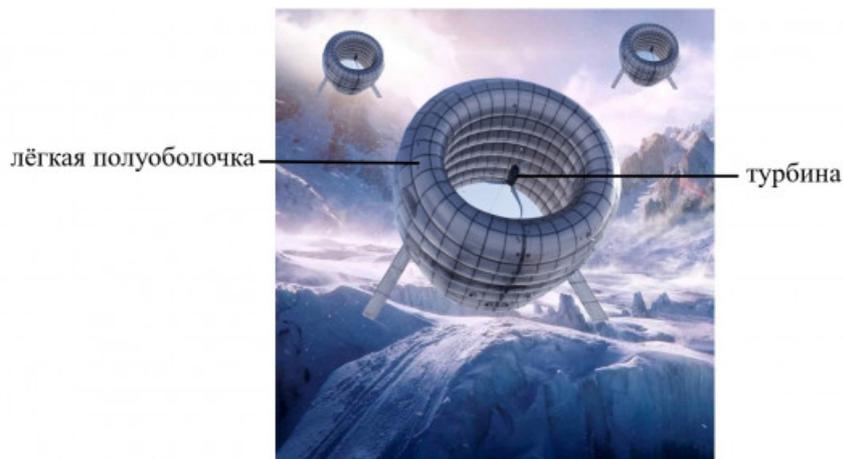


Рис. 3. Ветроустановка воздушного базирования

Использование технологий промышленного дирижабля позволит аппарату подняться на высоту не менее 600 м, где сила ветра более стабильна и постоянна, что позволит генератору вырабатывать минимум 1200 Вт·ч электроэнергии. У обычной станции производительность не больше 400 Вт·ч. Это следует из расчётов, приведённых ниже.

Формула мощности ВЭУ (ветроэнергетических установок) выглядит следующим образом<sup>2</sup>:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_m,$$

где  $\rho$  — плотность воздуха;

$V$  — скорость ветра;

$\eta_g, \eta_m$  — коэффициенты полезного действия генератора и механической передачи между ветроколесом и генератором;

$C_p$  — коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ), зависящий от профиля лопастей и других режимных параметров;

$A$  — площадь ветротурбины, в случае пропеллерной турбины.

Возьмём два идентичных ветрогенератора, один из которых будет поднят на высоту 100 метров, а другой - на высоту 600 метров, и сравним их мощности.

Отношение скоростей ветра на различной высоте можно определить следующим образом [Руководство]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{600}{100}\right)^{\frac{1}{4}} = 1,565$$

Плотность воздуха зависит от высоты следующим образом: при  $h_1 = 100$  м;  
 $\rho_1 = 1,213$  кг/м<sup>3</sup>

при  $h_2 = 600$  м;  $\rho_2 = 1,156$  кг/м<sup>3</sup>

Зная отношение скоростей ветра, можно вычислить отношение мощностей ветрогенераторов:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_2 \cdot A \cdot V_2^3 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_m}{\frac{1}{2} \cdot \rho_1 \cdot A \cdot V_1^3 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_m} = \frac{\rho_2 \cdot V_2^3}{\rho_1 \cdot V_1^3} = 3,653$$

Из расчётов получается, что мощность ветрогенератора, поднятого на высоту 600 метров, в 3,653 раза больше мощности ветроустановки, находящейся на уровне 100 метров от земли.

Аппарат фиксируется к земле с помощью лёгких и прочных тросов и может вырабатывать как минимум вдвое больше электричества, чем наземный генератор. При этом система очень лёгкая и, по сравнению с обычным ветрогенератором, её запуск стоит гораздо дешевле.

Данный аппарат можно использовать в территориально изолированных районах. Он монтируется буквально за несколько часов и также легко упаковывается в обычный транспортный контейнер. Кроме того, использование энергии ветра позволяет экономить невозобновляемые ресурсы. Так, ветрогенератор мощностью 1 МВт за 20 лет работы экономит 29000 тонн угля или 92000 баррелей нефти<sup>3</sup>.

Возникают вопросы: как сберечь всю энергию солнца и ветра, передав её потребителям в нужное время? Как сделать систему более дешёвой и износоустойчивой?

Одной из проблем энергетики является хранение избыточной энергии, получаемой от возобновляемых источников. Особенно характерно это для развивающихся солнечных и ветряных электростанций, которые активно внедряются в современное энергопространство.

Данные установки зачастую генерируют больше электроэнергии, чем сеть может использовать сразу, а потому могут вырабатывать энергию циклично. Именно поэтому компаниям, производящим электроэнергию, нужно где-то хранить её излишки. Обычно для этого используют очень дорогостоящие батареи.

Для хранения энергии и передачи её потребителю можно использовать гравитационные батареи.

Данная батарея изображена на рисунке 4 и представляет собой накопитель гравитационной энергии, запасённой в объекте в результате изменения высоты под действием силы тяжести. Система способна реагировать на пиковые нагрузки, то есть выдавать потребителю необходимое количество энергии в нужное время, а также, в случае аварии на электростанции, сможет предоставить бесперебойное обеспечение жителей электроэнергией.



а



б

Рис. 4. Фото гравитационной батареи (а) и её модель (б), показывающая принцип работы накопителя гравитационной энергии<sup>4</sup>

В режиме зарядки система использует получаемую извне электроэнергию на то,

чтобы поднять тяжёлый груз из нижней точки в верхнюю. При поднятии груза гравитационная батарея накапливает потенциальную энергию. Когда нужно извлечь энергию и получить электричество, груз под силой гравитации отпускается, а электромоторы переключаются в режим генераторов и выдают электроэнергию потребителю, при этом груз не падает мгновенно. Конструкция разработана так, что он отпускается медленно, то есть система способна выдавать энергию на протяжении нескольких часов, дней, всё зависит от высоты, на которую поднимается груз, и его массы. При этом переключение из режима зарядки в режим разрядки занимает всего несколько секунд<sup>5</sup>.

Гравитационные батареи не имеют тенденций к саморазряду с течением времени по сравнению с химическими аккумуляторами, которые постепенно теряют способность держать накопленную энергию, из-за чего через несколько десятилетий приходится инвестировать в их ремонт или замену.

Аккумуляторные батареи большой мощности быстро изнашиваются, дорогостоящи, небезопасны, а при их создании используется множество химических веществ, таких как гадолиний и литий, производство которых имеет свои экологические проблемы.

В отличие от литий-ионных батарей у гравитационных есть ряд преимуществ:

1) стоимость: только по стоимости хранения мегаватт в час они минимум в два раза дешевле литий-ионных;

2) срок службы: литий-ионные батареи быстро деградируют, и в зависимости от количества циклов заряда-разряда срок их службы составляет 5-10 лет (гравитационные батареи могут служить как минимум 50 лет);

3) гравитационные батареи безопаснее в использовании.

Остатки угольной промышленности могут получить вторую жизнь и дать толчок для развития возобновляемой энергетики. Заброшенные угольные шахты можно перепрофилировать для работы гравитационных батарей, которые смогут сохранять достаточно энергии, чтобы соответствовать текущим запросам всей страны. Это важно, поскольку основная проблема сбора энергии солнца и ветра заключается в том, что если её негде хранить, то она просто расходуется впустую.

Анализируя всё вышесказанное, можно отметить, что создание гибридной электростанции с использованием возобновляемых источников энергии (резонансных ветрогенераторов, ветроустановок воздушного базирования) откроет новые горизонты развития энергетики, сможет повысить эффективность, экологичность и надёжность энергоснабжения, а также качество электроэнергии, передаваемой потребителю в территориально изолированных районах. Применение систем накопления электроэнергии, таких, как гравитационные батареи, позволит сократить использование дизельного топлива, в случае аварии на основном источнике, обеспечит потребителей бесперебойным электроснабжением. Все предложения, представленные в статье, помогут в решении проблемы энергообеспечения потребителей, удаленных от централизованной энергосистемы.

### **Примечания**

<sup>1</sup> Электроэнергия из вихря: ветрогенератор без лопастей // Новости энергетики [Электронный ресурс]. URL: [https://ruscable.blogspot.com/2023/04/blog-post\\_647.html](https://ruscable.blogspot.com/2023/04/blog-post_647.html) (дата обращения: 05.05.2023).

<sup>2</sup> Ветроэнергетика - общая информация // Уральская энергетическая компания «ВАРМА» [Электронный ресурс]. URL: <http://uekvarma.ru/article/vetroenergetika-obschaya-informatsiya> (дата обращения: 08.06.2023).

<sup>3</sup> Энергия ветра: преимущества и недостатки ветроэнергетики // Школа для электрика [Электронный ресурс]. URL: <https://electricalschool.info/energy/1539-jenergija-vetra-preimushhestva-i.html> (дата обращения: 28.05.2023).

<sup>4</sup> Гравитация генерирует электричество, стартап Gravitricity продемонстрировал работу гравитационного аккумулятора // BuildingTECH [Электронный ресурс]. URL: <https://buildingtech.org/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F/gravytatsyya-generuyet-elektrychestvo-startap-gravitricity-prodemonstryroval-rabotu-gravytatsyonnogo-akkumulyatora> (дата обращения: 05.05.2023).

<sup>5</sup> Батарея «размером с дом» сможет заряжать саму себя с помощью гравитации: что известно // Фокус [Электронный ресурс]. URL: <https://focus.ua/digital/562610-batareya-razmerom-s-dom-smozhet-zaryazhat-samu-sebya-s-pomoshchyu-gravitacii-chno-izvestno> (дата обращения: 05.05.2023).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винокурова А.Н. Резонансные ветрогенераторы VIV / А.Н. Винокурова, А. Шодикулов, Ж. Ахмадов // Интернаука [Электронный ресурс]. 2020. № 16-2 (145). С. 47-50. URL: <https://internauka.org/journal/science/internauka/145> (дата обращения: 07.05.2023).

Огунлана А. Перспективы применения гибридных установок (на основе возобновляемых источников энергии) в малой энергетике России : магистерская диссертация [Электронный ресурс] / Науч. рук. Н.Н. Горюнова. Томск: ТПУ, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39843/1/TPU395254.pdf> (дата обращения: 15.05.2023).

Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки / ЦНИИП градостроительства. Москва: Стройиздат, 1986. 59 с.

Суслов К.В. Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения. Иркутск, 2019. 297 с.

## CREATING A HYBRID POWER PLANT AS A WAY TO IMPROVE THE RELIABILITY AND QUALITY OF POWER SUPPLY IN TERRITORIALLY ISOLATED AREAS

### Scientific adviser:

Denis E. Petrushin

Paper submitted on: 07/05/2023;

Accepted on: 09/28/2023;

Published online on: 09/30/2023.

**Abstract.** The article investigates one of the ways to improve the functional efficiency and ensure sustainable power supply of decentralized energy systems while minimizing their hazardous effects on the environment in case of natural and man-made emergencies. The aim of the study was to find options for solving the problem of power supply to consumers in territorially isolated areas, and the objective was to propose a power supply system that would improve the reliability and quality of power supply in such areas.

**Keywords:** decentralized power supply, renewable energy sources, resonant wind turbine, gravity battery, air-based wind turbines

**For citation:** Vishnevsky, A. R. Creating a Hybrid Power Plant as a Way to Improve the Reliability and Quality of Power Supply in Territorially Isolated Areas. *StudArctic Forum*. 2023, 8 (3): 98–105.

### REFERENCES

Vinokurova A.N., Shodikulov A., Akhmadov Zh. VIV resonant wind turbines. *Internauka* [Electronic resource], 2020, No. 16-2 (145), pp. 47-50. URL: <https://internauka.org/journal/science/internauka/145> (Accessed: 07.05.2023) (In Russ.)

Ogunlana A. *Prospects for the use of hybrid plants (based on renewable energy sources) for small-scale power generation in Russia*. Master's thesis [Electronic resource]. Tomsk, TPU, 2017. URL: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39843/1/TPU395254.pdf> (Accessed: 15.05.2023) (In Russ.)

Manual on assessment and regulation of the wind regime of residential buildings. Central Research Institute of Urban Planning. Moscow, Stroyizdat, 1986, 59 p. (In Russ.)

Suslov K.V. *Models and methods of complex substantiation of the development of isolated power supply systems*. Irkutsk, 2019, 297 p. (In Russ.)