

Научная статья
УДК 629.3.064.7: 621.311.24
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-232-241>
EDN: GWOSLM



АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ОБОГРЕВА САЛОНА АВТОМОБИЛЯ

Е.А. Лысенко ✉, В.Е. Щерба, Е.А. Павлюченко
Омский государственный технический университет (ОмГТУ),
г. Омск, Россия
✉ ответственный автор
lysenkojo@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. При движении автомобилей в зимний период по междугородним трассам могут возникнуть проблемы в том случае, если магистрали заметены снегом в результате обильных снегопадов, которые могут длиться несколько суток и более и движение в этот период становится невозможным. Анализ статистических данных по погодным явлениям в зимний период показал, что во многих регионах закрытие трасс из-за продолжительных снегопадов может достигать пятнадцати процентов. В этом случае существенную помощь в улучшении ситуации и повышении безопасности может оказать автономный источник энергии, которую он получает за счет использования свойств внешней среды. В работе рассмотрено техническое решение и проведен теоретический анализ его характеристик, нацеленный на решение проблемы автономного питания энергией салона автомобиля в тяжелых погодных условиях.

Материалы и методы. В работе представлено техническое решение и теоретический анализ его характеристик, нацеленное на решение проблемы автономного питания энергией салона автомобиля в тяжелых погодных условиях.

Результаты. По результатам информационного поиска предложена конструкция компактной ветроэнергетической установки малой мощности. Выполнен расчет потерь теплоты салона автомобиля, характеристик компактной ветроэнергетической установки и определена вырабатываемая мощность, необходимая для обогрева салона автомобиля в экстремальной ситуации.

Обсуждение и заключение. Установлено, что представленная конструкция ветроэнергетической установки малой мощности может быть использована в качестве прототипа для разработки промышленного образца автономного источника энергии для обогрева автомобиля в экстремальных условиях. Подобные установки могут быть применены в других отраслях, например, туризме, сельском хозяйстве, геологоразведке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобиль, безопасность движения, ветроэнергетическая установка, автономный источник энергии, ветряная турбина, погодные условия, общая безопасность, обогрев в экстремальных условиях, аварийное энергоснабжение

Статья поступила в редакцию 15.03.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 22.04.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Лысенко Е.А., Щерба В.Е., Павлюченко Е.А. Анализ возможности применения энергии ветра для автономного обогрева салона автомобиля // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 2. С. 232-241. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-232-241>

© Лысенко Е.А., Щерба В.Е., Павлюченко Е.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-232-241>
EDN: GWOSLM

USE POSSIBILITY ANALYSIS FOR WIND ENERGY IN AUTONOMOUS CAR INTERIOR HEATING

Evgenii A. Lysenko ✉, **Viktor E. Shcherba**, **Evgenii A. Pavlyuchenko**
Omsk State Technical University (OmSTU),
Omsk, Russia
✉ corresponding author
lysenkojo@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. When driving cars in winter on intercity routes, problems may arise if the highways are covered with snow as a result of heavy snowfalls, which can last for several days or more, and movement during this period becomes impossible. An analysis of statistical data on weather events in winter has shown that in many regions, the closure of trails as a result of prolonged snowfalls can reach up to fifteen percent. In this case, an autonomous energy source, which it receives through the use of environmental properties, can provide significant assistance in improving the situation and increasing safety. The paper considers the technical solution and carries out a theoretical analysis of its characteristics aimed at solving the problem of autonomous power supply of the car interior in severe weather conditions.

Materials and methods. The paper presents a technical solution and a theoretical analysis of its characteristics aimed at solving the problem of autonomous power supply of the car interior in severe weather conditions.

Results. Based on the results of the information search, the design of a compact low-power wind power plant is proposed. The calculation of the heat loss of the car interior, the characteristics of a compact wind power plant was performed and the generated power required to heat the car interior in an extreme situation was determined.

Discussion and conclusions. It has been established that the presented design of a low-power wind power plant can be used as a prototype for the development of an industrial design of an autonomous energy source for heating a car in extreme conditions. Similar installations can be used in other industries, for example, tourism, agriculture, and geological exploration.

KEYWORDS: car, traffic safety, wind power plant, autonomous power source, wind turbine, weather conditions, general safety, heating in extreme conditions, emergency power supply

The article was submitted 15.03.2024; approved after reviewing 08.04.2024; accepted for publication 22.04.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Lysenko E.A., Shcherba V.E., Pavlyuchenko E.A. Use possibility analysis for wind energy in autonomous car interior heating. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (2): 232-241. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-232-241>

© Lysenko E.A., Shcherba V.E., Pavlyuchenko E.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем движения автомобиля по междугородным трассам в зимнее время являются периоды с бурными снегопадами, когда магистрали занесены снегом в течение двух, трех суток и более и движение становится невозможным. Для большинства регионов как в России, так и за рубежом такие явления характерны в начале зимы, когда при повышенной влажности происходит сравнительно резкое понижение температуры с выпадением большого количества осадков в виде мокрого снега, или в конце зимы – начале весны [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Ежегодно сообщается о возникающих в эти периоды года длительных заторах на дорогах, характеризующихся чрезвычайными ситуациями, в которые попадают участники движения и которые связаны с нехваткой топлива для обогрева автомобиля за счет работы системы охлаждения ДВС и отказом бензиновых ДВС в связи с разрядкой аккумулятора при длительной работе на холостых оборотах и включенном вентиляторе системы отопления.

Очевидно, что в таких условиях существенную помощь в улучшении ситуации и повышении безопасности может оказать автономный источник энергии, работающий за счет использования свойств внешней среды. Для работы автономного источника можно использовать энергию ветра, для преобразования которой необходимо иметь ветроэнергетическую установку. Причем она должна быть компактной для возможности транспортировки без существенного ухудшения служебных свойств автомобиля.

В статье рассмотрена возможность применения устройства для обогрева салона автомобиля в экстремальных ситуациях. Представлено техническое решение и проведен теоретический анализ его характеристик, нацеленный на решения проблемы автономного питания энергией салона автомобиля в тяжелых погодных условиях.

Информационный поиск [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] позволил установить, что среди множества конструкций ветроэнергетических установок малой мощности предпочтение отдается агрегатам с вертикальной осью вращения турбины. Они имеют относительно малые габариты и массу, и что наиболее важно – работают независимо от направления движения воздуха.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применительно к обогреву салонов автомобилей имеется техническое решение¹, в котором описано устройство для обогрева салона автомобиля (рисунки 1 и 2). Устройство содержит турбину 5 и преобразователь энергии 7 (см. рисунок 1), в котором энергия ветра преобразуется непосредственно в тепловую энергию за счет сил трения или в электроэнергию путем использования генератора в качестве преобразователя энергии. Предусмотрена автоматическая или ручная регулировка частоты вращения турбины 5.

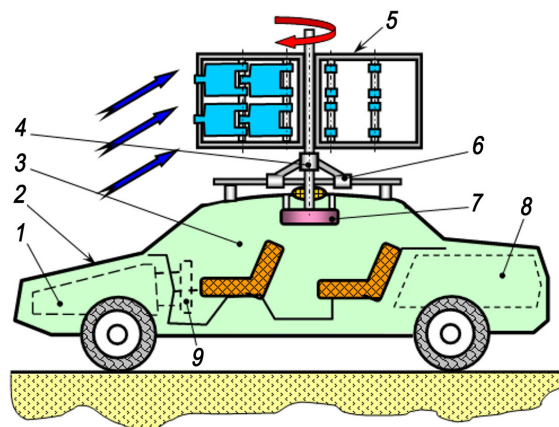


Рисунок 1 – Схема установки ветряной турбины с вертикальной осью на легковом автомобиле:

- 1 – двигатель; 2 – кузов автомобиля;
 - 3 – салон; 4 – переходник;
 - 5 – турбина с лепестковыми пластинами и вертикальными осями поворота;
 - 6 – устройство монтажа;
 - 7 – преобразователь энергии;
 - 8 – багажник; 9 – штатная система отопления салона
- Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Diagram of installation of a wind turbine with a vertical axis on a passenger car:

- 1 – Engine; 2 – Car body; 3 – Salon;
 - 4 – Adapter;
 - 5 – Turbine with lobe plates and vertical axes of rotation;
 - 6 – Mounting device; 7 – Energy converter;
 - 8 – Trunk;
 - 9 – Standard interior heating system
- Source: compiled by the authors.

Преобразование движения ветра во вращение турбины осуществляется лепестками 1 (см. рисунок 2), установленными шарнирно на горизонтальных штангах 4 и 8, штанги 7 и 8 одновременно являются упорами, не дающими возможность лепесткам совершать полное вращение вокруг штанг 4 и 7.

¹ Пат. 2723198 Российская Федерация, МПК В 60 Н 1/00. Устройство для обогрева салона автомобиля в экстремальных ситуациях (варианты) / В.Е. Щерба, А.П. Болштянский, И.П. Залознов, Е.Ю. Носов, Е.А. Лысенко, А.-Х.С. Тегжанов. № 201936416; заявл. 13.11.2019; опублик. 09.06.2020, Бюл. № 16.

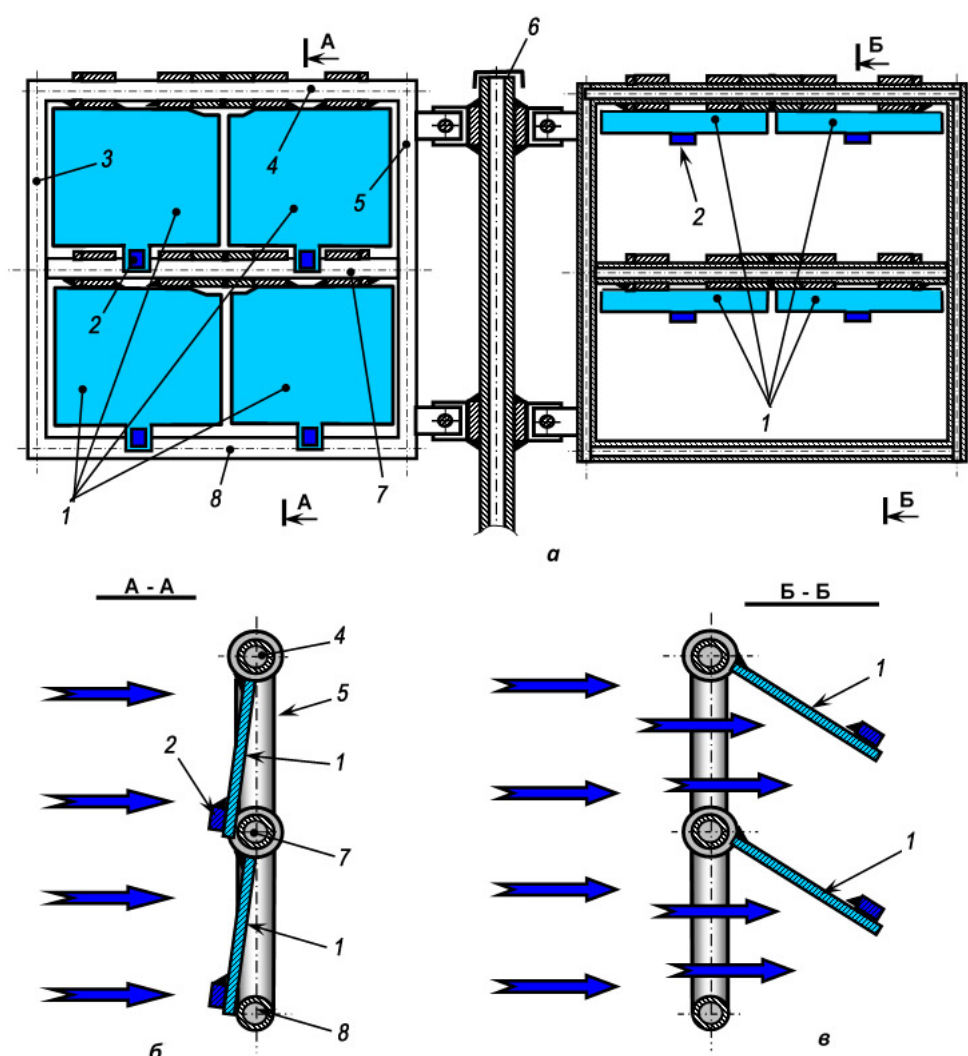


Рисунок 2 – Фронтальный вид турбины с вертикальной осью и горизонтальными осями вращения лепестков (а), боковое сечение при закрытых (б) и открытых (в) лепестках: 1 – лепестки; 2 – утяжелители; 3 и 5 – вертикальные штанги; 4, 7 и 8 – горизонтальные штанги; 6 – вал турбины. Стрелками показано направление движения воздуха
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Front view of the turbine with vertical axis and horizontal axes of rotation of lobes (a), lateral section with closed (b) and open (c) lobes: 1 – Petals; 2 – Weights; 3 and 5 – Vertical rods; 4, 7 and 8 – Horizontal bars; 6 – Turbine shaft. Arrows show the direction of air movement
Source: compiled by the authors.

Утяжелители 2 способствуют опусканию лепестков при прохождении их в зоне «встречного» по отношению к вращению турбины потока воздуха (рисунок 2, б), когда давление потока и создает крутящий момент, передаваемый лепестками на вал 6, и далее – на преобразователь энергии.

Вертикальное расположение оси вращения вала 6 позволяет обеспечить работу турбины в независимости от направления движения воздуха.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для расчета энергии, необходимой для поддержания приемлемой температуры воздуха в салоне автомобиля, следует рассмотреть два процесса: 1 – теплообмен воздуха, обеспечивающий нормальное дыхание пассажиров, и 2 – теплообмен салона с окружающей средой.

1. В соответствии с санитарными нормами² для обеспечения нормального дыхания в помещении площадью менее 20 м² для одного человека требуется 3 м³/ч свежего воздуха на 1 м² жилой площади. С учетом нормальной высоты потолка жилого помещения около 3 м и среднего роста человека 1,7 м можно предположить, что фактически через его легкие пройдет не более половины воздуха, находящегося в помещении, что составит около 1,5 м³/ч.

С другой стороны, известно, что легкие взрослого человека за сутки «пропускают» через себя около 17 кг воздуха, что при плотности воздуха около 1,29 кг/м³ составляет примерно 22 м³, т.е. около 0,92 м³/ч, или 3,3·10⁻⁴ кг/с.

Учитывая, что все-таки не весь воздух в салоне автомобиля будет использован находящимися в нем людьми, можно предположить, что на каждого пассажира свежий воздух должен заходить в салон в объеме около 1,5 м³/ч, или 5,4·10⁻⁴ кг/с.

В соответствии с [23] температура выдыхаемого человеком воздуха находится в диапазоне 30–32 °С даже при вдыхании воздуха с отрицательной температурой.

Мощность теплового потока, выделяемого каждым пассажиром от его дыхания, определяется по формуле

$$Q_B = C_p M_B \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость воздуха, (Вт/кг·К); M_B – его масса, кг; ΔT – разность между температурой выдыхаемого и вдыхаемого воздуха, К.

Учитывая, что пассажиры, находящиеся в салоне в это время года, одеты в зимнюю одежду, количество теплоты, передаваемый телами пассажиров в салон, можно считать ничтожно малым и не учитывать его в расчетах.

2. Определить базовый для расчета теплового потока, проникающий в салон автомобиля снаружи, очень сложно в связи с большим разнообразием конструкций автомобилей и большой номенклатурой шумопоглощающих и утепляющих покрытий салона. Поэтому необходимо принять некоторые допущения, характеризующие усредненные параметры:

– рассматривается современный 5местный легковой автомобиль с кузовом типа «седан» с общим остеклением площадью 2,5 м², толщина стекла 5 мм;

– площадь крыши 2,0 м², изнутри крыша покрыта пластиковой тканью толщиной 0,5 мм с утеплителем типа поролон толщиной 5 мм;

– суммарная площадь дверей без учета остекления – 2 м², двери утеплены пластиком и теплоизоляционным картоном толщиной 3 мм;

– суммарная площадь перегородки моторного отсека, пола и заднего отсека – 3 м², утеплитель – материал со свойствами фетра или войлока толщиной 6 мм.

Тепловой поток через стенку толщиной ℓ (м) определяется по формуле

$$Q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ell} \cdot F, \quad (2)$$

где $T_1 - T_2$ – разность между температурой окружающей среды и температурой воздуха в салоне, К; λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, ; F – площадь поверхности теплообмена, м². Сумма мощности всех тепловых потоков и составит мощность, которую должна иметь ветровая турбина.

Мощность Q_B , выделяемая при дыхании одного пассажира, рассчитанная по уравнению (1), зависит от температуры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Если принять среднюю температуру воздуха в салоне около +10 °С, то при температуре выдыхаемого воздуха +30 °С и его теплоемкости 1005 Дж/кг·градус эта мощность составит около 13 Вт.

В то же время типичный вентилятор печки отопителя при минимальной частоте вращения имеет производительность около 4 м³/мин и потребляет мощность около 15 Вт, то есть в течение двух-трех минут с его помощью можно практически полностью проветрить салон.

Вполне очевидно, что потребляемая мощность вентилятора полностью компенсируется мощностью, выделяемой при дыхании пассажиров, и этой составляющей баланса мощности можно пренебречь.

Расчет мощности теплового потока через остекления представляет сложную задачу. Проще всего предположить, что температура наружной поверхности стекла равна температуре окружающей среды, а внутренняя поверхность имеет температуру салона. Однако на самом деле на внутренней поверхности стекла будет образовываться так называемая «изморозь» некоторой толщины, теплопроводность которой значительно ниже теплопрово-

² СНиП 41-01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Федер. гос. унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве», 2004. 55 с.

дности стекла, а температура ее обращенной к салону поверхности может достаточно сильно отличаться от температуры воздуха в салоне. Кроме того, теплоприток из салона явно повысит температуру наружной поверхности стекла. Можно предположить, что минимальная температура наружного воздуха равна 30 °С, и при этом температуру стекла снаружи можно принять -20 °С, а температуру внутренней поверхности с учетом наличия на ней изморози – 0 °С, толщина изморози – около 2 мм. Коэффициент теплопроводности стекла при низких температурах равен 0,2÷0,3 Вт/м·градус. Тогда по формуле (2) мощность теплового потока через остекление будет примерно равна 1500 Вт.

Мощность теплового потока через крышу при перепаде температур 30 °С и коэффициенте теплопроводности пороллона 0,04 Вт/м·градус составит около 500 Вт.

Мощность теплового потока через двери при этих же условиях и коэффициенте теплопроводности теплоизоляционного картона (0,04 Вт/м·градус) составит около 800 Вт.

Мощность теплового потока через перегородки и пол с учетом снежного заноса нижней части автомобиля при перепаде температур 20 °С и коэффициенте теплопроводности теплоизоляционного материала 0,045 Вт/м·градус составит около 400 Вт.

Итого мощность общих тепловых потерь ориентировочно можно принять равной 3200 Вт.

Этот результат близко совпадает с мощностью устанавливаемых в легковых автомобилях отопителей салона. Так, например, радиатор отопителя АЗЛК412 (номер по каталогу 41281010621) имеет мощность 3770 Вт, радиатор ГАЗ3302 (номер по каталогу 23.8101060) – 3300 Вт. Очевидно, что эти параметры были выбраны проектировщиками, исходя из реальных и суровых климатических условий эксплуатации автомобилей на территории бывшего СССР.

Выбор возможных габаритов и частоты вращения турбины не может быть произвольным. Эти параметры ограничены в основном двумя условиями:

1. Турбина должна свободно размещаться и надежно крепиться на крыше автомобиля и иметь габариты, дающие возможность ее сборки и установки одним-двумя людьми.

2. Частота вращения турбины должна быть как можно ниже, чтобы, во-первых, более полно использовать скоростной напор ветра (иметь максимально возможную разность скорости ветра и линейной скорости вращения лепестков), и, во-вторых, высокая частота вращения предъявляет жесткие требования к динамической сбалансированности конструкции, которую явно очень сложно обеспечить и ставит под сомнение ее работоспособность, основывающуюся на периодическом открытии и закрытии лепестков в течение одного оборота турбины. При выборе частоты вращения турбины следует учесть данные НИУ Росгидромета РФ³ и работ [24, 25], в соответствии с которыми наиболее часто средняя скорость ветра на территории Российской Федерации составляет около 15 м/с, а в отдельные периоды доходит до 25 м/с.

Можно предположить, что турбина уже должна быть работоспособна при средней скорости ветра более 10 м/с. Тогда для создания хорошего напора ветра линейная скорость движения лепестков должна быть гораздо ниже, например – 4 м/с.

Если принять площадь S одной квадратной панели с лепестками, равной 1 м², и расстояние от центра симметрии панели до оси ее вращения (радиус вращения) $R = 0,6$ м, то крутящий момент, передаваемый панелью на вал будет определяться формулой $M_{кр} = F_p \cdot R$, где F_p – сила давления ветра в Ньютонах, определяемая по уравнению

$$F_p = \rho \frac{(V_1 - V_2)^2}{2} S \cdot C_x, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; V_1 – скорость ветра, м/с; V_2 – линейная скорость кругового движения центра симметрии панели, м/с; C_x – коэффициент лобового сопротивления.

Плотность воздуха в диапазоне температур от -10 °С до -30 °С можно принять равной 1,4 кг/м³, а величину C_x для плоской пластины, равной 1,17. Тогда уравнение (3) дает результат $F = 59$ Н.

При линейной скорости движения панели 4 м/с и диаметре окружности, по которой происходит вращение ее геометрической симметрии, равной 1,2 м, частота вращения вала n составляет около 1 с⁻¹ (60 мин⁻¹).

³ Бардин М.Ю., Громов С.А., Козлова Е.Н. [и др.]. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2022. 109 с. ISBN 978-5-906099-58-7.

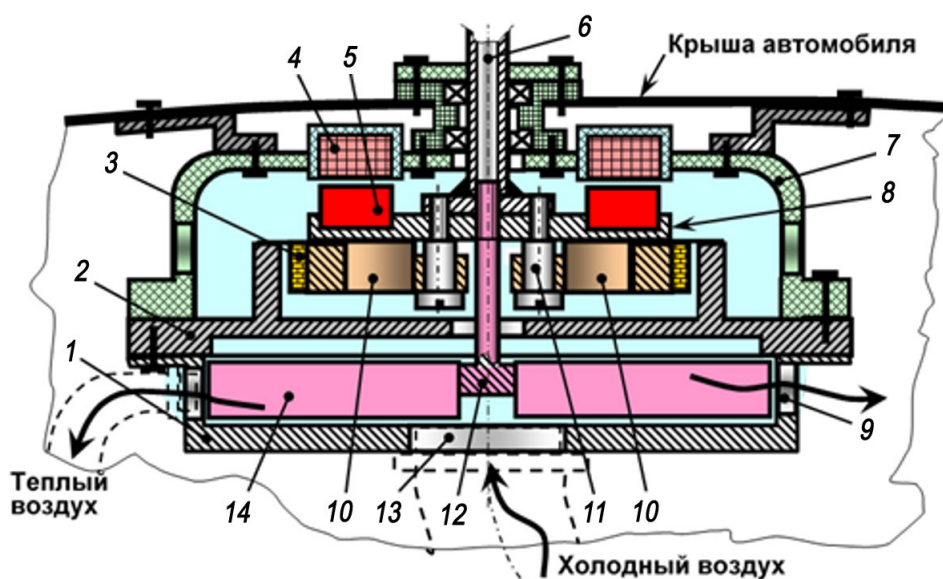


Рисунок 3 – Схема комбинированного преобразователя энергии, смонтированного в крыше автомобиля внутри салона:
 1 – нижняя крышка; 2 – неподвижный барабан; 3 – фрикционная накладка; 4 – обмотка генератора;
 5 – постоянные магниты; 6 – приводной вал турбины; 7 – корпус; 8 – диск;
 9 – отверстие; 10 – подковообразные тормозные колодки; 11 – оси; 12 – вал привода турбины отопления;
 13 – отверстие; 14 – лопатки турбины отопления
 Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Diagram of the combined energy converter mounted in the roof of the car inside the cabin:
 1 – Lower cover; 2 – Fixed drum; 3 – Friction pad; 4 – Generator winding;
 5 – Permanent magnets; 6 – Turbine drive shaft; 7 – Building; 8 – Disc; 9 – Hole;
 10 – Horseshoe brake pads; 11 – Axes; 12 – Shaft of heating turbine drive; 13 – Hole; 14 – Heating turbine blades.
 Source: compiled by the authors

Мощность турбины определяется по формуле

$$N = M_{кр} \frac{2\pi \cdot n}{60}, \quad (4)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на валу, Н·м; n – число оборотов вращения вала, мин⁻¹.

Мощность турбины при минимальной ее нагрузке будет равна $N = 108$ Вт.

При скорости ветра 15 м/с этот результат будет равен 363 Вт, а при скорости ветра 25 м/с – 1334 Вт, что составляет менее половины от максимально необходимой для обогрева салона.

Если увеличить площадь панели до разумной величины 1,5х1,5 м с одновременным увеличением R до 0,9 м, то при скорости ветра 10 м/с мощность турбины составит 353 Вт, при скорости 15 м/с – 1227 Вт, и при скорости 25 м/с – 4500 Вт, что существенно превышает необходимость.

Очевидно, что это завышенные величины, поскольку в реальной конструкции лепестки панелей будут при попутном для их поворота ветре открываться не полностью и закрываться они будут не мгновенно. Существуют неизбежные потери на трение, которые зависят от типа и конструкции преобразователя энергии. Предварительно можно считать, что такие потери могут составлять до 30% от расчетной величины.

Рассмотрим конструкцию преобразователя энергии, которая представлена на рисунке 3. При вращении диска 8 магниты 5 движутся по окружности, и в обмотке 4 возникает электрический ток, который через инвертор-стабилизатор может использоваться для подзарядки аккумулятора и/или для нагрева салона.

Необходимо отметить, что устройство управления ограничителя скорости вращения турбины реализовано таким образом, что тепловая энергия, выделяемая при его работе, направляется в салон, что является дополнительным источником теплоты.

Принцип работы устройства реализован следующим образом: тормозные колодки 10 под действием центробежных сил прижимаются фрикционными накладками 3 к неподвижному барабану 2, при трении выделяется теплота, барабан нагревается, и нагревает воздух, который лопатками 14 всасывается из салона через отверстие 13 и нагнетается обратно в салон через отверстия 9. Колодки 10 выполняют функцию ограничителя скорости вращения турбины, не давая ей разогнаться до большой угловой скорости.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам информационного поиска предложена конструкция компактной ветроэнергетической установки малой мощности, которая, используя электрогенератор, позволяет преобразовать энергию ветра в электричество, а также за счет сил трения в устройстве управления ограничителя скорости вращения турбины получить дополнительную тепловую энергию. Полученная энергия используется для подзарядки аккумулятора и для нагрева салона в экстремальных ситуациях.

Выполнен расчет потерь теплоты салона автомобиля, на основании которого определены основные параметры компактной ветроэнергетической установки и рассчитана вырабатываемая мощность, необходимая для обогрева салона автомобиля в экстремальной ситуации.

Рассмотренная концепция конструкции ветроэнергетической установки может служить прототипом для разработки промышленного образца в применении к автономным источникам энергии для обогрева автотранспорта в экстремальных условиях.

Подобные устройства могут найти применение для штатного и аварийного энергоснабжения в туризме, охотничьем промысле, сельском хозяйстве, в геологоразведочных, археологических экспедициях и др.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Межгодовые вариации строения снежного покрова на территории России // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009. № 3. С. 20–24.
2. Shuangze Han Linkage of the preceding winter mid-latitude Eurasian atmospheric circulation with the spring northern East Asian snow cover // *Atmospheric Research*, 2023. Vol. 293. 109626, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.109626>.
3. Barry R.G., Fallot J.-M., Armstrong R.L. Twentieth-century variability in snow-cover conditions and approaches to detecting and monitoring changes:

status and prospects // *Progress in Physical Geography*. 1995. Vol. 19, N 4. P. 520 – 532.

4. Fallot J.-M., Barry R.G., Hoagstratc D. Variations of mean cold season temperature, precipitation and snow depth during the last 100 years in the former Soviet Union (FSU) // *Hydrological Sciences Journal*. 1997. Vol. 42. N 3. P. 301–327.

5. Komtnami Y., Endo I., Niwano S., Ushioda S. Viscous compression model for estimating the depth of new snow // *Annals of Glaciology*. 1998. Vol. 26. P. 77–82.

6. Lehntng St., Bartelt P., Brown B. et al. Snowpack model calculations for avalanche warning based upon a network of weather and snow stations // *Cold Regions Science and Technology*. 1999. Vol. 30, N 1–3. P. 145–157.

7. Lindsay Matthews, Jean Andrey, Christopher Fletcher, Yaasiin Oozeer The development of climate services to inform decisions about winter maintenance at different timescales // *Climate Services*. 2021. Vol. 22. 100232. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100232>.

8. Jianzhao Song, Zhong Zhang, Yunye Mu, Xingyu Wang, Haipeng Chen, Qingze Pan, Yang Li Enhancing envrionmental sustainability via interval optimization for low-carbon economic dispatch in renewable energy power systems: Leveraging the flexible cooperation of wind energy and carbon capture power plants // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 442. 140937. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140937>.

9. Mohammad Al-Khayat, Majed AL-Rasheedi A new method for estimating the annual energy production of wind turbines in hot environments // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 195. 114343. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114343>.

10. Qiang Gao, Alva Bechlenberg, Bayu Jayawardhana, Nesimi Ertugrul, Antonis I. Vakis, Boyin Ding Techno-economic assessment of offshore wind and hybrid wind-wave farms with energy storage systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024; Vol. 192: 114263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114263>.

11. Кулаков А.В. Ветроэнергетика в России: проблемы и перспективы развития // *Энергосовет*. 2011. № 5 (18). С. 37–38.

12. Isabel C. Gil García, Ana Fernández-Guillamón, M. Socorro García-Cascales, Ángel Molina-García Multi-factorial methodology for Wind Power Plant repowering optimization: A Spanish case study // *Energy Reports*. 2024. Vol. 11. P.179–196. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.044>.

13. Соломин Е.В., Холстед Р.Л. Технические особенности и преимущества ветроэнергетических установок // *Альтернативная энергетика и экология*. М.: НИИЭС, 2010. № 1. С. 36–41.

14. Mustafa Tefvik Kartal, Ugur Korkut Pata, Sinan Erdogan, Mehmet Akif Destek Facing the challenge of alternative energy sources: The scenario of European Union countries based on economic and environmental analysis // *Gondwana Research*. 2024. Vol. 128. P. 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.10.019>.

15. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Исследование параметров механических ветротеплогенераторов для автономного теплоснабжения различных потребителей // Промышленная энергетика. 2020. № 1. С. 51–55. DOI: 10.34831/EP.2020.36.92.009.

16. Харитонов В.П. Основы ветроэнергетики: монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. 338 с. ISBN 978-5-85941-382-9.

17. Хозяинов Б.П. Влияние геометрических параметров на эффективность работы вертикально-осевой ветроэнергетической установки // Промышленная энергетика. 2020. № 1. С. 44–50. DOI: 10.34831/EP.2020.39.11.008.

18. Абдрахманов Р.С., Назмеев Ю.Г., Якимов А.В. Об эффективности использования ветроэнергетики в регионах РФ с умеренными скоростями ветра // Известия РАН. Энергетика. 2001. N 5. С.93–102.

19. Аванесова Т.И., Мокряк А.В. Экономическая оценка использования ветровых энергетических установок в Камчатской области // Вестник КамчатГТУ. 2006. Вып.5. С.139–148.

20. Автономные ветровые энергоустановки с аккумуляторами тепла / О.С. Попель, С.Е. Фрид, Д.В. Ефимов, А.М. Анисимов // Альтернативная энергетика и экология. 2008. № 11. С.78–85.

21. Быков Е.Н., Елистратов В.В. Ветроэнергетическая установка со спиральными лопастями для малой ветроэнергетики // Известия вузов. Проблемы энергетика. 2007. № 5–6. С.111–114.

22. Вашкевич К.П., Маслов Л.А., Николаев В.Г. Опыт и перспективы развития ветроэнергетики в России // Малая энергетика. 2005. N 1–2 (2–3). С.56–66.

23. Котляров С.Н., Кузьмина М.С., Котлярова А.А. Оценка температуры выдыхаемого воздуха у спортсменов с бронхиальной астмой // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 8–3 (62). С. 125–127. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.025>.

24. Капля Е.В. Корреляционный анализ скоростей ветра по данным нескольких лет // Письма в международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2014. № 4. С. 20–22.

25. Капля Е.В. Обобщение логистического закона распределения в статистическом анализе динамики направления ветра // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52, № 6. С. 669–675.

REFERENCES

1. Golubev V.N., Petrushina M.N., Frolov D.M. Interannual variations of the snow cover structure on the territory of Russia., D.M. Frolov. *Moscow university geography bulletin*. 2009; 3: 20–24. (in Russ.)

2. Shuangze Han Linkage of the preceding winter mid-latitude Eurasian atmospheric circulation with the spring northern East Asian snow cover. *Atmospheric Research*. 2023; Vol. 293. 109626, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.109626>.

3. Barry R.G., Fallot J.-M., Armstrong R.L. Twentieth-century variability in snow-cover conditions

and approaches to detecting and monitoring changes: status and prospects. *Progress in Physical Geography*. 1995; Vol. 19, N 4: 520 – 532.

4. Fallot J.-M., Barry R.G., Hoagstratc D. Variations of mean cold season temperature, precipitation and snow depth during the last 100 years in the former Soviet Union (FSU). *Hydrological Sciences Journal*. 1997; Vol. 42. N 3: 301–327.

5. Komtnami Y., Endo I., Niwano S., Ushioda S. Viscous compression model for estimating the depth of new snow. *Annals of Glaciology*. 1998; Vol. 26: 77–82.

6. Lehntng St., Bartelt P., Brown B. et al. Snowpack model calculations for avalanche warning based upon a network of weather and snow stations. *Cold Regions Science and Technology*. 1999; Vol. 30, N 1–3: 145–157.

7. Lindsay Matthews, Jean Andrey, Christopher Fletcher, Yaasiin Oozeer The development of climate services to inform decisions about winter maintenance at different timescales. *Climate Services*. 2021; Vol. 22: 100232. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100232>.

8. Jianzhao Song, Zhong Zhang, Yunye Mu, Xingyu Wang, Haipeng Chen, Qingze Pan, Yang Li Enhancing envrionmental sustainability via interval optimization for low-carbon economic dispatch in renewable energy power systems: Leveraging the flexible cooperation of wind energy and carbon capture power plants. *Journal of Cleaner Production*. 2024; Vol. 442: 140937. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140937>.

9. Mohammad Al-Khayat, Majed AL-Rasheedi A new method for estimating the annual energy production of wind turbines in hot environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024; Vol. 195: 114343. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114343>.

10. Qiang Gao, Alva Bechlenberg, Bayu Jayawardhana, Nesimi Ertugrul, Antonis I. Vakis, Boyin Ding Techno-economic assessment of offshore wind and hybrid wind-wave farms with energy storage systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024; Vol. 192: 114263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114263>.

11. Kulakov A.V. Wind energy in Russia: problems and prospects of development. *Energosovet*. 2011; 5 (18): 37–38. (in Russ.)

12. Isabel C. Gil García, Ana Fernández-Guillamón, M. Socorro García-Cascales, Ángel Molina-García Multi-factorial methodology for Wind Power Plant repowering optimization: A Spanish case study. *Energy Reports*. 2024; Vol. 11. 2024; 179–196. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.044>.

13. Solomin E.V., Holsted R.L. Solomin E.V., Halstead R.L. Technical features and advantages of wind power. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. Moscow: NIIES, 2010; 1: 36–41. (in Russ.)

14. Mustafa Tevfik Kartal, Ugur Korkut Pata, Sinan Erdogan, Mehmet Akif Destek Facing the challenge of alternative energy sources: The scenario of European Union countries based on economic and environmental analysis. *Gondwana Research*. 2024; Vol. 128: 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.10.019>.

15. SHishkin N.D., Il'in R.A. Investigation of parameters of mechanical wind-heat generators for autonomous heat supply of various consumers. *Industrial power engineering*. 2020; 1: 51–55. DOI: 10.34831/EP.2020.36.92.009. (in Russ.)

16. Kharitonov V.P. *Fundamentals of wind power engineering: monograph*. Moscow: GNU VIEHS, 2010: 338. (in Russ.)

17. Hozyainov B.P. Influence of geometrical parameters on the efficiency of a vertical-axis wind turbine. *Industrial power engineering*. 2020; 1: 44–50. DOI: 10.34831/EP.2020.39.11.008. (in Russ.)

18. Abdrakhmanov R.S., Nazmeev Y.G., Yakimov A.V. On the efficiency of wind energy utilization in the regions of the Russian Federation with moderate wind speeds. *Izvestia RAN. Energetics*. 2001; 5: 93–102. (in Russ.)

19. Avanesova T.I., Mokryak A.V. Economic evaluation of wind power plants utilization in Kamchatka region. *Vestnik KamchatGTU*. 2006; Vyp.5: 139–148. (in Russ.)

20. Popel' O.S., Frid S.E., Efimov D.V., Anisimov A.M. Autonomous wind power installations with the heat accumulators (in Russian). *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2008; 11: 78–85. (in Russ.)

21. Bykov E.N., Elistratov V.V. Wind power plant with spiral blades for small wind power engineering. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2007; 5–6: 111–114. (in Russ.)

22. Vashkevich K.P., Maslov L.A., Nikolaev V.G. Experience and prospects of wind energy development in Russia. *Malaya energetika*. 2005; N 1–2(2–3): 56–66. (in Russ.)

23. Kotlyarov S.N., Kuz'mina M.S., Kotlyarova A.A. Measurement of exhaled air temperature among athletes with bronchial asthma. *Mezhdunarodny naučno-issledovatel'skij zhurnal* (International Research Journal). 2017; 8–3 (62): 125–127. (in Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.025>.

24. Kaplya E.V. Correlation analysis of wind speeds based on data of several years. *Alternativnaya Energetika i Ekologiya* (alternative energy and ecology). 2014; 4: 20–22. (in Russ.)

25. Kaplya E.V. Generalization of the logistic law of distribution in the statistical analysis of wind-direction dynamics. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2016; T. 52. no 6^ 669–675. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Лысенко Е.А. Получение данных для анализа, анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи.

Щерба В.Е. Постановка цели, задач, координация исследований, участие в написании статьи.

Павлюченко Е.А. Выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Evgeniy A. Lysenko. Obtaining data for analysis; analyzing research results and preparing data; writing the text of the article.

Viktor E. Shcherba. Setting goals, tasks, coordinating research, participating in writing an article.

Evgeniy A. Pavlyuchenko. Performing work on the systematization of the material; writing the text of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лысенко Евгений Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Гидромеханика и транспортные машины» Омского государственного технического университета (644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7465-3360>, **SPIN-код:** 4506-1197, **Scopus Author ID:** 57190747837, **Researcher ID:** KEI-1385-2024, e-mail: Lysenkojo@mail.ru

Щерба Виктор Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Гидромеханика и транспортные машины» Омского государственного технического университета (644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5262-008X>, **SPIN-код:** 6637-4059, **Scopus Author ID:** 7006190048, **Researcher ID:** D-5093-2014, e-mail: scherba_v_e@list.ru

Павлюченко Евгений Александрович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Гидромеханика и транспортные машины» Омского государственного технического университета (644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6109-7449>, **SPIN-код:** 6223-7909, **Scopus Author ID:** 55956907000, **Researcher ID:** N-4395-2013, e-mail: hystonru@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy A. Lysenko. Cand. of Sci., Associate Professor of the Hydromechanics and Transport Machines Department, Omsk State Technical University (Omsk, Prospekt Mira, 11., 644050), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7465-3360>, **SPIN-код:** 4506-1197, **Scopus Author ID:** 57190747837, **Researcher ID:** KEI-1385-2024, e-mail: Lysenkojo@mail.ru

Viktor E. Shcherba. Dr. of Sci., Professor, Head of the "Hydromechanics and Transport Machines Department, Omsk State Technical University (Omsk, Prospekt Mira, 11., 644050), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5262-008X>, **SPIN-код:** 6637-4059, **Scopus Author ID:** 7006190048, **Researcher ID:** D-5093-2014, e-mail: scherba_v_e@list.ru

Evgeniy A. Pavlyuchenko. Cand. of Sci., Head of the Hydromechanics and Transport Machines Department, (Omsk, Prospekt Mira, 11., 644050), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6109-7449>, **SPIN-код:** 6223-7909, **Scopus Author ID:** 55956907000, **Researcher ID:** N-4395-2013, e-mail: hystonru@mail.ru