

2. Экология города: учебник / А. И. Ажгиревич, В. Н. Азаров, А. В. Алешин, В. В. Гутенев, В. В. Денисов, Н. В. Мензелинцева, И. В. Стефаненко, В. И. Теличенко. – 2-е изд., доп. – Москва ; Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2014. – 436 с.
3. ГОСТ Р 58404-2019 Станции и комплексы автозаправочные. Правила технической эксплуатации – Утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25.04.2019 №167-ст. Введ. в действие с 01.06.2019. – М.: Стандартинформ, 2019.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14 декабря 2010 года) – Утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 №404.
5. Оценка пожарного риска на производственных объектах: учебное пособие / сост. Ю.И. Иванов, В.А. Зубарева, Д.А. Беспёрстов, Н.А. Пашкевич; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2013. – 228 с.
6. РД 1.2-138-2005 Методика оценки пожаровзрывоопасности систем местных отсосов – Введ. в действие распоряжением ОАО «Газпром» с 11.02.2005. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005.
7. ГОСТ Р 51105-97 Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5, 6, с Поправкой) – Введ. в действие постановлением Госстандарта России от 09.12.1997 N 404 с 01.01.1999. – М.: Стандартинформ, 2009.
8. ГОСТ 32513-2013 Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия – Введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.11.2013 №1864-ст с 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2014.
9. ГОСТ 8599-2010 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Плотность светлых нефтепродуктов. Таблицы пересчета плотности к 15 °С и 20 °С и к условиям измерения объема – Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 13.12.2011. Введ. в действие с 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2012.
10. Самойлов Н.А., Консейсао А.А.-да Математическое моделирование испаряемости нефти и нефтепродуктов при их аварийных разливах // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т.12. №1(9). С.2251-2254.
11. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Численное моделирование испарения бензина с учетом тепломассопереноса в жидкой фазе // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №8. С. 129-132.
12. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (с изменениями на 6 июля 2019 года) – Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 N 87. Введ. в действие с 06.03.2008.

© Р. В. Хрестенко, В. Н. Азаров

Ссылка для цитирования:

Р. В. Хрестенко, В. Н. Азаров. Учёт испарений от проливов нефтепродуктов в городской среде // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 50–54.

УДК 621.548

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОЛНОВОГО АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

С. С. Гришин

Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, г. Волжский, Россия

В статье обоснована актуальность ветроэнергетики для России. Рассмотрен один из новых видов инновационных ветродвигателей – волновой автоколебательный ветродвигатель, который представляет собой автоколебательную систему для преобразования энергии свободных потоков. Описан принцип его работы и свойственные ему преимущества. Изложены математические и физические принципы, позволившие создать математическую модель автоколебательного ветродвигателя. На основании теоретического масштабирования исследуемой модели до размеров предполагаемого ветродвигателя, была осуществлена оценка энергетических возможностей автоколебательного ветродвигателя, проведена оценка выработки электроэнергии при использовании автоколебательного ветродвигателя на примере Волгоградской области. В статье также рассмотрен вопрос снижения экологического воздействия традиционной энергетики на окружающую среду, за счёт применения автоколебательного ветродвигателя. Дана оценка величины сокращения вредных выбросов в атмосферу, за счёт его применения.

Ключевые слова: ветроэнергетика, инновационные ветродвигатели, волновые автоколебательные ветродвигатели, экологичность, коэффициент использования энергии ветра, уравнение Лагранжа второго рода, среднегодовая мощность, годовая выработка электроэнергии, вредные выбросы, коэффициент выбросов.

ASSESSMENT OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL POTENTIAL OF WAVE SELF-OSCILLATING WIND TURBINE

S. S. Grishin

National Research University – Branch of Moscow Power Engineering Institute (MPEI) in Volzhsky, Volzhsky, Russia

The article substantiates the relevance of wind energy for Russia. One of the new types of innovative wind turbines is considered – wave self-oscillating wind turbine, which is an auto-oscillating system for converting the energy of free flows. The principle of its operation and its inherent advantages are described. The mathematical and physical principles that allowed to create a mathematical model of self-oscillating wind turbine are stated. Based on the theoretical scaling model to the size of the intended wind turbine, an assessment of energy opportunities in the self-oscillation of the wind turbine, the assessment of electricity generation when using self-oscillation of the wind turbine on the example of the Volgograd region. The article also considers the issue of reducing the environmental impact of traditional energy on the environment through the use of self-oscillating wind turbine. The estimation of the value of reduction of harmful emissions into the atmosphere due to its application is given.

Keywords: wind power, innovative wind turbines, wave self-oscillating wind turbines, environmental friendliness, wind energy utilization factor, Lagrange equation of the second kind, average annual capacity, annual electricity generation, harmful emissions, emission factor.

Ветроэнергетика – одна из самых бурно развивающихся отраслей возобновляемой энергетики (ВЭ). На долю ветроэнергетики ежегодно приходится порядка трети всех вводимых мощностей ВЭ.

Из всех видов ВЭ для России особенно важна именно ветроэнергетика, т. к. 70% территории страны, где проживает 10% населения, находятся в зонах децентрализованного энергоснабжения, которые практически совпадают с зонами потенциально реализуемого ветрового потенциала.

Основу современного парка ветродвигателей (ВД) составляют устройства, использующие для привода либо подъёмную силу, либо силу аэродинамического сопротивления. Им присущи определённые достоинства и недостатки, идеального ветродвигателя не существует. Этот факт стимулирует появление новых ВД, конструкции которых, отличаются от конструкций, ставших традиционными. Их работа может осуществляться без использования традиционных для ВД сил [1-5]. Такие ВД можно называть инновационными. Этим ВД могут быть присущи достоинства, в рамках которых их применение может быть перспективным. К этому виду ВД можно отнести и волновые автоколебательные ВД [6-14].

Волновой ветродвигатель, представляющий собой автоколебательную систему (АС) для преобразования энергии ветровых и водных потоков [12]. Он, как и любая автоколебательная система, способен совершать неограниченно долго незатухающие колебания, за счёт источника энергии, находящегося за пределами автоколебательной системы, при этом периодический процесс колебаний создаётся за счёт неперiodического источника энергии.

Уравнение, описывающее автоколебания в самом общем виде, можно представить, как дифференциальное уравнение второго порядка вида [15-17]

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = F(x, \dot{x}) - 2h\dot{x} = f(x, \dot{x}). \quad (1)$$

Для существования автоколебаний необходимо, чтобы:

$$h < 0, F > 0, \omega^2 > h^2.$$

Рабочим элементом автоколебательного ВД является крыло (крылья), которое, совершает под действием набегающего потока среды автоколебательные движения. При этом описываемые им в пространстве траектории, аналогичны траектории тела, плавающего на возмущённой границе, раздела жидкой и газообразной среды, но в случае автоколебательного ВД, колебания совершаются не на границе раздела сред, а внутри потока.

Частота совершаемых крылом колебаний определяется параметрами колебательной системы. На амплитуду колебаний влияют количество энергии, подводимое потоком и параметры самой, АС. Автоколебательным ВД при-

сущи такие достоинства, как: экологичность, возможность работы при низких скоростях ветра, удобная конструкция, высокий коэффициент использования энергии ветра.

Изучение протекания автоколебательных процессов осуществлялось на модели ВД, кинематическая схема которой представлена на рис. 1. Она представляет собой систему из коромысла АВ и рычага OD, соединённых между собой шарнирной связью BD. Ниже шарнира расположен груз массой m_a . Для увеличения количества отбираемой у потока энергии, на коромысле АВ установлены две крыловидные плоскости. Крыло на рычаге OD, играет роль элемента, управляющего работой ВД, выполняя совместно с шарнирной связью BD функцию обратной связи.

Описание работы ВД осуществлялось при помощи уравнения Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = - \frac{\partial U}{\partial \alpha} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\alpha}} + Q(t), \quad (2)$$

где координата α – угол отклонения коромысла, на котором установлены крылья, от положения равновесия, T, U – кинетическая и потенциальная энергия колебательной системы, $\Phi = \frac{\beta \dot{\alpha}^2}{2}$ –

диссипативная функция Рэля, учитывающая рассеивание энергии, вызванное наличием сил внутреннего и вязкого трения, $Q(t)$ – зависящая от времени обобщённая сила, действующая внутри колебательной системы (КС).

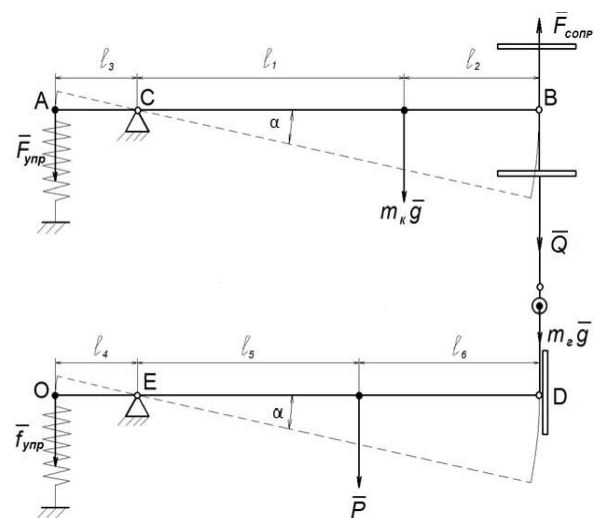


Рис. 1. Кинематическая схема автоколебательного ветродвигателя

Было показано, что решением уравнения (2) является дифференциальное уравнение второго порядка вида

$$\ddot{\alpha} + 2h\dot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = A \cdot Q(t), \quad (3)$$

описывающее временную зависимость угловой координаты элементов модели, совершающих колебания, для автоколебательного режима

работы, где коэффициенты: $2h = \frac{\beta(l_1 + l_2)^2}{I_{AB} + I_{OB}}$,

$A = \frac{1}{I_{AB} + I_{OB}}$, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1 l_3^2 + k_2 l_4^2}{I_{AB} + I_{OD}}}$ – циклическая

частота автоколебаний. $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{AB} + I_{OD}}{k_1 l_3^2 + k_2 l_4^2}}$ – период колебаний.

В свою очередь: β – обобщённый диссипативный коэффициент, I_{AB}, I_{OD} – моменты инерции коромысла АВ и рычага OD, с учётом наличия груза и крыльев, k_1, k_2 – коэффициенты жёсткости соответствующих пружин, l – соответствующие длины коромысла (рычага).

Полученное уравнение (3) соответствует общему виду уравнения автоколебаний (1). Т.о, рассмотренная колебательная система способна совершать автоколебания при соблюдении необходимых условий, а уравнение (3) имеет решение. Следует отметить, что для синхронизации поступления в автоколебательную систему энергии, частота действия обратной связи должна быть близка к частоте собственных колебаний системы. В этом случае автоколебательная система способна не ограниченно долго совершать незатухающие колебания. Рассмотренная автоколебательная система являются расширенной системой, включающей ветродвигатель и рабочий поток. При этом рабочий поток одновременно является и внутренними источниками энергии, и причиной появления обратной связи, регулирующей поступление энергии в систему.

В результате дальнейших экспериментальных исследований, были определены условия возникновения автоколебания, в привязке к описываемому их уравнению, а также конкретный вид этого уравнения, для построенной модели ВД [13]. Так же была создана математическая модель автоколебательного ВД, в соответствии с которой, вычисленные параметры автоколебаний, дали хорошее совпадение с параметрами, полученными из экспериментов.

Для оценки энергетических возможностей полномасштабной ВЭУ на базе автоколебательного ветродвигателя, было проведено пропорциональное масштабирование исследуемой модели до размеров предполагаемого ВД. При длине крыльев полномасштабного ВД $A = 5\text{ м}$, радиус поворота коромысла составил $R = 2,75\text{ м}$, а площадь, используемого ветрового потока (заметаемая площадь) $S = 4,56\text{ м}^2$.

Расчёт мощности автоколебательной ВЭУ производился в соответствии с формулой

$$P_i = C_p \eta_{эм} N_{0i}, \quad (4)$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ); $\eta_{эм}$ – коэффициент преобразования механической энергии в электрическую; N_{0i} – мощность ветрового потока.

Расчёт выработки электроэнергии ВЭУ за период времени T производится в соответствии с формулой [20]

$$E = TK_{mc} K_n \sum_{i=1}^N P_i \Pi_i, \quad (5)$$

где K_{mc} – коэффициент технической готовности (для ВЭУ $K_{mc} = 0,96...0,98$); K_n – коэффициент, учитывающий простой ВЭУ в результате обледенения и налипания мокрого снега ($K_n = 0,96...0,98$); N – число градаций скоростей ветра; P_i – мощность ВЭУ, при скорости ветра i -й градации и определяемая по зависимости $P_i = f(V_{0i})$; Π_i – повторяемость скорости ветра i -й градации за время $T = 8760\text{ ч}$.

Зависимость $P_i = f(V_{0i})$ в свою очередь определяется высотой, на которой проводились измерения скорости ветра, и связана с высотой, на которой работает ВЭУ соотношением

$$V_0 = V_u \left(\frac{H_0}{H_u} \right)^m, \quad (6)$$

где H_u и V_u – высота измерения и скорость ветра на этой высоте; $m = 0,125 \div 0,2$ – коэффициент, учитывающий изменение скорости ветра от высоты в приземных слоях атмосферы.

Конструктивные особенности автоколебательных ВЭУ таковы, что их установку можно осуществлять на крышах зданий. Высота девятиэтажного дома составляет $25 \div 27\text{ м}$. Пятиэтажного – вдвое ниже. Таким образом, отношение

$\frac{H_0}{H_u} \approx 1 \div 2$, при этом $\left(\frac{H_0}{H_u} \right)^m \approx 1,0 \div 1,15$.

Так как $P_i \sim V_0^3$, то $P_i \sim \left[\left(\frac{H_0}{H_u} \right)^m \right]^3 \sim (1,0 \div 1,15)^3$.

В итоге, формула (5) приобретает вид $E = (0,96 \div 0,98) \cdot (0,96 \div 0,98) \cdot (1,0 \div 1,15)^3 T \sum_{i=1}^N P_i \Pi_i = (0,92 \div 1,46) T \sum_{i=1}^N P_i \Pi_i$ (5')

Электрическая мощность ВЭУ с учётом повторяемости для Волгоградской области составляет [18, 19]:

$$\sum_{i=1}^N P_i \Pi_i = 0,7787\text{ кВт} \cdot$$

Значение

$$P_{cc} = (0,92 \div 1,46) \sum_i^N P_i \Pi_i = (0,92 \div 1,46) \cdot 0,7787 \approx 0,7 \div 1,14 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

представляет собой среднегодовую мощность полноразмерной ВЭУ в реальных условиях эксплуатации Волгоградской области.

Этому значению мощности одной полноразмерной ВЭУ, в соответствии с формулой (5), соответствует годовая выработка электроэнергии в объёме

$$E = (0,92 \div 1,46) \Gamma \sum_i^N P_i \Pi_i = (0,92 \div 1,46) \cdot 8760 \cdot 0,7787 \approx 6276 \div 9959 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Для традиционной энергетики наиболее важными, с точки зрения экологии, является сокращение выбросов водяного пара, углекислого газа, окислов азота.

Водяной пар является основным естественным парниковым газом, который ответственен более чем за 60 % эффекта. Срок его пребывания в атмосфере оценивается в 120 лет, и он оказывает отрицательное воздействие на несколько поколений вперёд.

Парниковая активность закиси азота в 298 раз выше, чем у углекислого газа, кроме того, оксиды азота могут влиять на озоновый слой в целом.

По данным экспертов, чтобы не произошло глобального изменения климата Земли, к 2050 г. необходимо сократить выбросы CO₂ в атмосферу примерно на 60%. Снижение выбросов парниковых газов означает принятие решений, связанных с производством энергии – их главным источником.

Порядка 85% энергии в мире вырабатывается на тепловых электростанциях. На долю ТЭС также приходится примерно 22% общемировых выбросов CO₂. Средний удельный выброс CO₂ в РФ на единицу суммы выработанной электрической и тепловой энергии составляет порядка 0,414 кг/(кВт·ч). Такой высокий результат получен благодаря развитию теплофикации и большой (63%) доле природного газа, используемого на ТЭС в как топливо. При этом следует учитывать, что низкое значение выброса CO₂ соответствует усреднённой для РФ структуре сжигаемого на ТЭС топлива. Эмиссия CO₂ ТЭС, работающих на твёрдом топливе примерно в 1,7 раз выше, чем на природном газе.

Использование ВИЭ в данный момент рассматривается как самый действенный способ сокращения вредных выбросов в атмосферу. Если читать, что выработанная ВЭУ электроэнергия была бы произведена на ТЭС, за счёт сжигания того или иного органического топлива, то образовавшееся при этом количество вредных выбросов определяется путём умножения количества произведённой электроэнергии, на коэффициент выбросов, характерный для данного вида топлива, затраченного для производства этой электроэнергии. При

выборе коэффициентов выбросов можно применять два разных подхода:

а) использовать «Стандартные» коэффициенты выбросов, согласно принципам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) для оценки риска глобального изменения климата. В этом случае учитываются только выбросы CO₂, которые происходят в связи с энергопотреблением. Стандартные коэффициенты выбросов основаны на содержании углерода в каждом виде топлива. В этом подходе важнейшим парниковым газом является CO₂, а выбросы других парниковых газов не рассчитываются;

б) применять коэффициенты выбросов ОЖЦ (Оценки жизненного цикла), которые учитывают общий жизненный цикл энергоносителя. Этот подход включает не только выбросы от полного сжигания, но также все выбросы в цепочке поставки продукта. В таком подходе важную роль могут играть другие парниковые газы. ОЖЦ представляет собой международный стандартизированный метод (серии ISO 14040) и применяется также для определения углеродистого следа [21].

Таблица 1

Стандартные коэффициенты выбросов CO₂ (при МГЭИК, 2006 г.) и ОЖЦ коэффициенты выбросов CO₂-эквивалентов (согласно ЕБЖЦ) для типичных видов топлива

Энергоносители	МГЭИК		ОЖЦ	
	CO ₂ кг/кВт·ч	CO ₂ -эк кг/кВт·ч	CO ₂ кг/кВт·ч	CO ₂ -эк кг/кВт·ч
Природный газ	0,202	0,202	0,221	0,237
Топочный мазут	0,267	0,268	0,292	0,305
Бурый уголь	0,364	0,365	0,368	0,375
Антрацит	0,354	0,356	0,379	0,393

Представленные в таблице 1 коэффициенты позволяют определять количество выбросов для основных видов топлива при производстве электроэнергии. Вычисления показывают, что одна автоколебательная ВЭУ позволяет сократить величину выбросов на величину, примерно, от одной до четырёх, тонн CO₂ в год.

Выводы

1. Ветроэнергетика – одна из самых бурно развивающихся отраслей возобновляемой энергетики.

2. Из всех видов ВИЭ для России особенно важна ветроэнергетика. 70% территории страны, где проживает 10% населения, находятся в зонах децентрализованного энергоснабжения, которые практически совпадают с зонами потенциально реализуемого ветропотенциала.

3. Не существует конструкции идеального ветродвигателя. Конструкции инновационных ВД отличаются от конструкций, ставших традиционными. Их работа может осуществляться без использования традиционных для ВД сил, а их рабочие элементы вообще могут не совершать вращения. Инновационным ВД могут

быть присущи достоинства, которые могут создать для них ниши, в рамках которых их применение может быть перспективным.

4. К инновационным ВД можно отнести и волновые автоколебательные ветродвигатели, представляющие собой автоколебательные системы для преобразования энергии ветровых и водных потоков. Рабочим элементом таких ВД является крыло (крылья), которое, совершает под действием набегающего потока среды автоколебательные движения.

5. Автоколебательным ВД присущи такие достоинства, как: экологичность, возможность работы при низких скоростях ветра, удобная конструкция, высокий КИЭВ.

6. Изучение протекания автоколебательных процессов осуществлялось на модели ВД, для которой создана математическая модель, в со-

ответствии с которой, вычисленные параметры автоколебаний, дали хорошее совпадение с параметрами, полученными из экспериментов.

7. Среднегодовая электрическая мощность ВЭУ, на базе автоколебательного ВД, в зависимости от погодных условий, технического состояния, высоты установки ВД, в условиях Волгоградской области оценивается в $0,7 \div 1,1$ кВт, а годовая выработка электроэнергии одной ВЭУ примерно $6 \div 10$ МВт·ч в год.

8. Ограничению выбросов при работе ТЭС, наряду с техническими, технологическими средствами, способствует и использование ВИЭ, в том числе и энергии ветра.

9. Работа одной автоколебательной ВЭУ мощностью порядка 1 кВт, позволяет сократить выбросы CO₂ в атмосферу от одной до четырёх тонн в год.

Список литературы

1. Cheminée Solaire à air chaud ascendant. Режим доступа <http://www.tour-solaire.fr/wiki-def-cheminee-solaire.php?PHPSESSID=a82e50e8e81e5568bd48653249616150> (Дата обращения: 02.04.2018).
2. Les tours solaires. Режим доступа <http://denis.weyer.free.fr/tpe/un/sol.html> (Дата обращения: 25.05.2017).
3. Developers Trying to Harness Earth's Energy in New Way. The Power of Wind. Режим доступа <http://www.rexresearch.com/kelley/kelley.htm> (Дата обращения: 02.04.2018).
4. Versatile Wind Harvester breaks from traditional turbine design. Режим доступа <http://www.gizmag.com/wind-harvester-reciprocating-motion-wind-turbine/21565/> (Дата обращения: 02.04.2018).
5. Испанцы создали ветряки без лопастей. Режим доступа <http://ourspain.ru/economic/news2962.html> (Дата обращения: 02.04.2018).
6. Инновационный ветряной генератор Dual Wing Generator. Режим доступа <http://www.facte.eu/tecnologii/dual-wing-generator-festo> (Дата обращения: 02.04.2018).
7. А. с. 1240949 СССР, МПК F03D5. Ветродвигатель / С. Д. Стрекалов (СССР); опубл. 30.06.86. Бюл. № 24.
8. Пат. 2293212 Российская Федерация, МПК F03D5. Устройство для преобразования возобновляемой энергии / Стрекалов С. Д., Мишарев Г. М., Стрекалова Л. П., А. Н. Тарасов А. Н. - № 2005124839; заявл. 04.08.2005; опубл. 2007.
9. Пат. 2447320 Российская Федерация, МПК F03D5. Устройство для преобразования возобновляемой энергии / Андронов П. Р., Гувернюк С. В., Досаев М. З., Дынникова Г. Я., Симоненко М. М., Стрекалов С. Д., Стрекалова Е.С. - № 2010107256; заявл. 27.02.201.
10. Патент на полезную модель 101102 Российская Федерация, МПК F03D5. Устройство преобразования ветровой энергии / Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П., Поляков В. А., Бормотов А.Л. - № 2010111068/06; заявл. 23.03.2010; опубл. 10.01.2011.
11. Патент на полезную модель 143620 Российская Федерация, МПК F03D5. Устройство для преобразования ветровой энергии / Стрекалов С. Д., Гришин С. С., Пивченко А. В., Стрекалова А. С. - № 20104110577/06; заявл. 19.03.2014; опубл. 27.07.2014.
12. С. Д. Стрекалов, С. С. Гришин, А. В. Пивченко, А. С. Стрекалова. К вопросу создания экологически эффективного волнового автоколебательного ветродвигателя // Альтернативная энергетика и экология. 2014, № 04 (144), С. 26-31.
13. Grishin S. S., Strekalova L. P. Theoretical and Experimental Aspects of Building a Model of the Self-Oscillatory Wave Wind Turbine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 224, Number 1. - Yurga / - 2018. - URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/224/1>
14. Гришин С.С. Получение экспериментальных данных кинематических величин при работе автоколебательного ветродвигателя // Материалы V Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности», г. Волгоград, апрель 2018 г.
15. Колебания. Введение в исследования колебательных систем // К. Магнус. - М.: Мир. - 1982. - С. 304.
16. Элементы теории нелинейных колебаний // Н. В. Бутенин. - Л.: Судпромгиз. - 1962. - С. 196.
17. Теория колебаний // А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. - М.: Наука. - 1981. - С. 918.
18. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных), учебное пособие // О.С. Попель, С.Е. Фрид, С. В. Киселева, Ю.Г. Коломиец. - М.: Изд-во МФТИ. - 2010. - С. 56.
19. Возобновляемые энергоресурсы атмосферы, гидросферы, биосферы: лабораторный практикум // под ред. А.А. Соловьёва, - М.: Университетская книга. - 2013. - С. 56.
20. Оптимизация сельских энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии // Р.А. Амерханов. - М.: Колос. - 2003. - С. 532.
21. Как разработать «План действий по устойчивому энергетическому развитию» (ПДУЭР) в городах Восточного Партнерства и Центральной Азии - руководство. Часть II - базовый кадастр выбросов / Joint Research Centre Institute for Energy and Transport Institute for Environment and Sustainability. - 2014. - С. 64.

© С. С. Гришин

Ссылка для цитирования:

С. С. Гришин. Оценка энергетического и экологического потенциала волнового автоколебательного ветродвигателя // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Аст-рахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 54-58.