

УДК 621.436.004.5

**Л.И. Гречихин<sup>1</sup>, Н.Г. Куць<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Белорусская государственная академия связи.<sup>2</sup> Луцкий национальный технический университет**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИХРЕВОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА ТРАНСПОРТЕ**

*Вихревой тепловой насос реализуется, когда в тыльной стороне лопастей ветрогенератора возникает срывное течение. Доказана возможность создания теплового насоса вихревого типа с высоким коэффициентом преобразования тепловой составляющей потока воздуха в электрическую энергию на транспорте.*

*Ключевые слова:* тепловой насос, срывное течение, ветрогенератор, вентилятор, коэффициент преобразования

**Л.І. Гречихін, Н.Г.Куць****МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОВОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА ТРАНСПОРТІ**

*Вихровий тепловий насос реалізується, коли в тильній стороні лопатей вітрогенератора виникає зривна течія. Доведено можливість створення теплового насоса вихревого типу з високим коефіцієнтом перетворення теплової складової потоку повітря в електричну енергію на транспорті.*

*Ключові слова:* тепловий насос, зривна течія, вітрогенератор, вентилятор, коефіцієнт перетворення.

**L.I. Gretchikhin, N.G. Kuts****POSSIBILITIES OF USING A VORTEX HEAT PUMP IN TRANSPORT**

*The vortex heat pump is realized when in the back side of the vane blades there is a breakdown of the current of the generator. The possibility of creating a heat pump of a vortex type with a high coefficient of conversion of thermal component of the air flow into electric energy in transport.*

*Keywords:* heat pump, felling current, wind turbine, fan, conversion factor.

**Постановка проблеми.** В работах [1-3] показано, что применение тепловых насосов на транспорте представляет интерес с точки зрения экономической эффективности. Теоретически рассмотрены три типа тепловых насосов, которые возможно применить на транспорте. Особой простотой обладает вихревой тепловой насос и в работе [3] убедительно показана высокая эффективность применение такого насоса в авиации. Однако разработка и широкое применение вихревых тепловых насосов на транспорте сдерживается отсутствием экспериментального подтверждения полученных теоретических выводов.

**Цель и задачи исследования.** Из-за отсутствия экспериментального подтверждения полученных теоретических выводов была поставлена **цель:** создать экспериментальную установку для проверки работы вихревого теплового насоса и провести на ней экспериментальные исследования.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Сконструировать и изготовить экспериментальную установку для проверки работы вихревого теплового насоса.
2. Выполнить измерения потребляемых мощностей на холостом ходу электродвигателей вентилятора и электрогенератора.
3. Выполнить измерения потребляемой мощности электрогенератора в зависимости от мощности воздушного потока.
4. Произвести расчет коэффициента преобразования вихревого теплового насоса.
5. Определить оптимальные условия работы вихревого теплового насоса.

**Анализ методов решения поставленных задач.** Экспериментальная установка схематично представлена на рисунке 1. В корпусе 1 размещены исследуемый винт 2, который насажен на ось электромотора постоянного тока 3.

Форма лопастей и направление их вращения выбраны в виде удобном для теоретического анализа аэродинамики их обтекания.

Винт закреплен на оси коллекторного двигателя постоянного тока TRAXXAS 775 мощностью 350 Вт. Винт 2 с мотором 3 по существу являются электрогенератором. Электрогенератор закреплен внутри жесткого цилиндрического корпуса 1. Поток воздуха перпендикулярно плоскости вращения исследуемого винта создавался высокоскоростным винтом

APS 7X6E, который приводился во вращение коллекторным электромотором TRAXXAS 380 мощностью 100 Вт.

Такой винт с мотором выполнял роль вентилятора. Вентилятор 4 с исследуемым винтом закреплен внутри жесткого цилиндра, который установлен на массивной платформе 5.

На этой же платформе размещены панель управления и измерительные приборы. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки с измерительными приборами показана на рисунке 2.

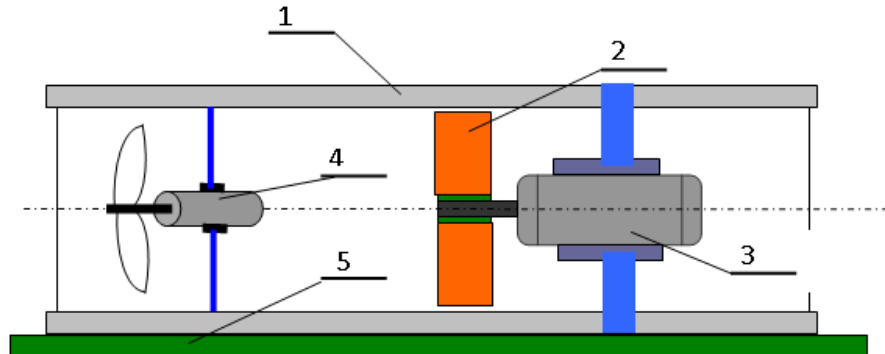


Рис. 1 - Принципиальный вид экспериментальной установки:  
1 – корпус; 2 – исследуемый винт;  
3 – электромотор постоянного тока; 4 – вентилятор; 5 – платформа

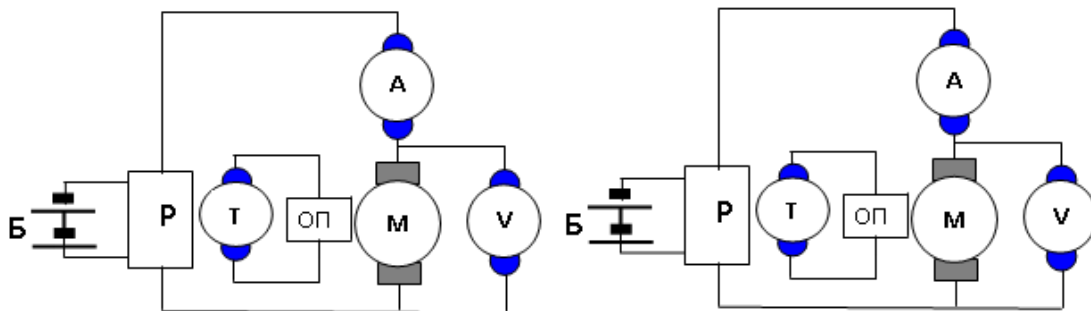


Рис. 2 - Принципиальная электрическая схема установки

Если лопасти ветрогенератора, конструкция которых позволила бы создать эффективное срывное течение, то в этом случае реализуется тепловой насос со сравнительно большим коэффициентом преобразования. Для проверки такого предположения рассмотрим работу лопасти ветрогенератора наиболее простой формы, изображенной на рисунке 3 с соответствующими обозначениями.

Лопать формируется тремя плоскостями – сферической радиуса  $R$  и двумя плоскими поверхностями под углом  $\alpha$  шириной  $L_4$  и длиной  $L_5$ . Количество лопастей задаются. Ширина  $L_3$ , ограничивающая сферический сектор, определяется теоремой косинусов, т.е.,

$$L_3 = \sqrt{L_4^2 + L_5^2 - 2L_4L_5 \cos \alpha} \quad (1)$$

Площадь сечения лопатки

$$S = \frac{L_x L_y}{2} - \frac{L_y}{2} (L_x - L_4) - \frac{\beta R^2}{2} + \frac{L_3}{2} \sqrt{4R^2 - L_3^2}, \quad (2)$$

где

$$L_x = L_5 \cos \alpha, \quad L_y = L_5 \sin \alpha \quad \text{и} \quad \beta = 2 \arctg \left( \frac{L_3}{\sqrt{4R^2 - L_3^2}} \right). \quad (3)$$

Зная плотность материала  $\rho_0$ , из которого изготовлена лопатка, легко определить момент инерции трехлопастного винта

$$J = \frac{\rho_0 S}{3} (L^3 - d^3 / 8) + \frac{\rho_0 d^4}{32} L_x. \quad (4)$$

Электропитание лабораторной установки осуществлялось от аккумуляторов. Для изменения скорости вращения электромоторов и направления их вращения использовался специально разработанный регулятор.

Электрический ток на электромоторах измерялся амперметром, а падение напряжения - вольтметром. Частота вращения моторов контролировалась тахометрами с применением оптопары на отражении.

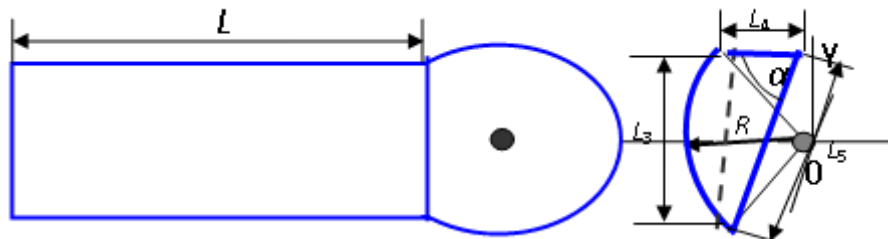


Рис. 3 - Общий вид лопасти

Используемые приборы контроля параметров работы электродвигателей позволили выполнить измерения потребляемой мощности двигателями в зависимости от частоты вращения электромоторов.

В такой лабораторной установке винт с электромотором представляет открытую систему, на которую воздействует аккумулятор и внешний воздушный поток, формируемый вентилятором. На рисунке 4 изображена открытая система, на которую воздействует электрический аккумулятор и ветровой поток воздуха.



Рис. 4 - Воздействие на открытую систему

Электромотор, подключенный к аккумулятору, при вращении потребляет мощность

$$N = I \cdot V, \quad (5)$$

где  $I$  – потребляемый электрический ток и  $V$  – падение напряжения на якоре электромотора. Ветровой поток воздуха пропорционален кубу скорости движения потока, т.е.

$$\Delta N = k v_p^3. \quad (6)$$

Этот поток воздействует на лопасти винта. Скорость вращения якоря электромотора изменяется и на его статоре дополнительно наводится ЭДС, которое в зависимости от направления вращения винта либо увеличивает падение напряжения на якоре электромотора, либо уменьшает. Тогда

$$N' = I' \cdot (V \pm \text{ЭДС}). \quad (7)$$

При этом скорость вращения якоря электромотора возрастает или уменьшается. Так как внутреннее трение изменяется, то и электрический ток также должен несколько изменяться. В этом случае коэффициент преобразования в такой замкнутой системе определяться отношением вида

$$\eta = \frac{N' - N}{\Delta N}. \quad (8)$$

Дополнительный механический момент на валу электромотора создавался аэродинамикой обтекания каждой лопасти воздушного винта. Принципиальная картина обтекания лопасти винта приведена на рисунке 5.

При такой конструкции лопасти винта тяговые усилия равны нулю, а воздействие внешнего потока воздуха влияет только на срывное течение в тыльной области лопасти с образованием вихрей, что и приводит к заметному увеличению коэффициента преобразования вихревого насоса.

Для учета потерь на трение при вращении якорей электродвигателей были выполнены измерения мощности потерь в зависимости от подаваемого напряжения в режиме холостого хода. Мощность холостого хода, потребляемая электродвигателем, зависит линейно от приложенного напряжения. Это позволило при компьютерном моделировании постоянно учитывать мощность потерь, расходуемых на трение, по линейной зависимости.

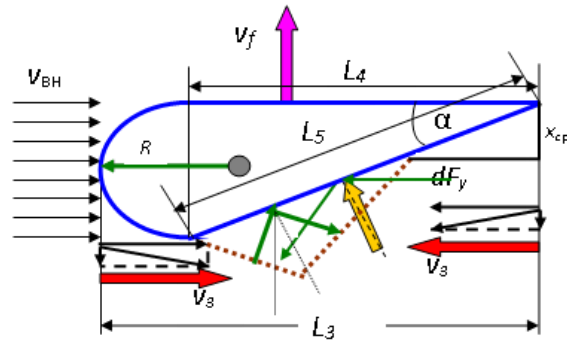


Рис. 5 - Схема взаимодействия воздушного потока с лопастью ветрогенератора

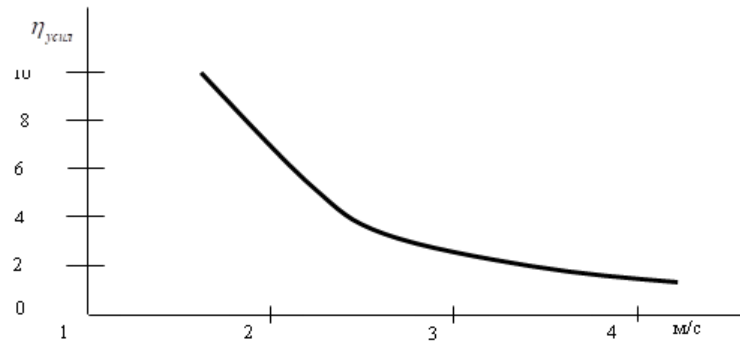
Измерение мощности потребления электродвигателем ветрогенератора в зависимости от частоты вращения производилось в прямом и обратном направлении вращения винта. Потребляемая мощность электродвигателем с трехлопастным винтом в зависимости от частоты при прямом и обратном направлении вращения практически мало отличаются. Это понятно, так как потребляемая мощность пропорциональна кубу частоты вращения, а возмущающаяся масса воздуха и момент инерции не изменяются.

Чтобы теоретический расчет полностью совпадал с экспериментальными данными необходимо коэффициент разлета воздуха вращающимся винтом полагать вариационным параметром. При этом полученное значение коэффициента разлета не должно выходить за рамки граничных значений, определяемых аэродинамикой обтекания. Для вытянутых лопастей винта этот коэффициент не должен превышать 0.5. Если учесть, что вдоль лопасти также имеет место некоторое течение воздуха, то разлет уплотненного воздуха должен совершаться равновероятно по всей окружности и не должен быть меньше 0.159. При малых скоростях вращения винта граница уплотнения за счет диффузии может совершать движение в направлении вектора линейной скорости, и тогда определенная доля возмущенного воздуха будет исключаться из процесса формирования зоны разрежения в тыльной стороне вращающейся лопасти. В этом случае коэффициент рассеяния должен быть меньше 0.159. Начиная с 20 Гц и выше, диффузионные процессы и разлет воздуха вдоль лопасти несколько ослабевают, и поэтому коэффициент разлета превышает граничное значение 0.159.

В тыльной области каждой лопасти только небольшая кромка испытывает ударное действие уплотненной воздушной средой вследствие заполнения зоны разрежения практически со скоростью звука, т.е., когда не сформировался поток воздуха за счет возникшей разности давлений в соответствии с законом Бернулли в тыльной зоне. Результат такого воздействия приводит к возрастанию коэффициента преобразования теплового потока воздуха и показан на рисунке 6.

Быстрое уменьшение коэффициента преобразования получается вследствие деформации воздушного потока в тыльной стороне, где возникает срывное течение, которое не заходит в зону разрежения. Оптимальные условия работы ветрогенератора, как теплового насоса, реализуются, когда вентилятор создает поток воздуха со скоростью от 1.5 до 2 м/с.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что разработанная молекулярно-кинетическая модель достаточно адекватно описывает динамику аэродинамического обтекания воздушным потоком лопастей ветрогенератора.



**Рис. 6 - Залежність коефіцієнта преобразования від швидкості повітряного потоку, формованого вентилятором**

Проведені експериментальні дослідження виникнення срывного течія, яке формує умови роботи ветрогенератора, як вихревого теплового насоса дозволили:

1. Розробити молекулярно-кінетичну теорію роботи вихревого теплового насоса.
2. Установити, що вихревий тепловий насос реалізується, коли з тильної сторони лопастей ветрогенератора виникає срывное течіє.
3. Доказати, що зовнішній потік повітря при малих швидкостях повітряного потоку коефіцієнт преобразования зростає, а при великих швидкостях срывной потік в зону разреження лопастей винта ветрогенератора не заходить і припиняється робота теплового насоса.
4. Доказати можливість створення теплового насоса вихревого типу з високим коефіцієнтом преобразования теплової складової потоку повітря в електричну енергію.

1. Гречихин Л. И., Куць Н., Г. Энергетические комплексы на транспорте /Л. И. Гречихин. – Минск: Право и экономика, 2013. – 259 с.

2. Куць Н. Г. Двигатели и энергетические комплексы на транспорте / Н. Г. Куць – Луцк: ЛНТУ, 2014. – 252 с.

3. Gretchikhin L. I., Kuts N. G. Heat Pump with the Mobius Screw /Proceedings: The fifth world Congress "Aviation in the XXI-st century September 25-27, 2012. – Kyiv: NAU. 2012. V.1, P. 1.3.22-1.3.32