

УДК 53:378.6.091.27

Викторов Матвей Сергеевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, matvej-viktorov@yandex.ru

Маринин Олег Олегович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, zik1554@yandex.ru

Смык Александра Федоровна, д-р физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, afsmyk@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА МАГНУСА В ИНФРАСТРУКТУРЕ ДОРОГИ

Аннотация. В статье рассматривается физическое явление – эффект Магнуса, его особенности, а также его применения в технике и в инфраструктуре дорог России. Была собрана экспериментальная установка, демонстрирующая эффективность применения данного явления в получении электроэнергии. Установка представляет собой ветряной генератор, у которого вместо обычных лопастей установлены вращающиеся цилиндры. По результатам собственных исследований были сделаны выводы о перспективном развитии данной технологии в инфраструктуре дорог. В частности, предлагается применять подобные установки на фонари, освещающие основные трассы России для экономии потребления энергии. Кроме этого представляется перспективным использование ветряных генераторов с вращающимися цилиндрами на заправочных станциях для электромобилей.

Ключевые слова: эффект Магнуса; подъемная сила; электроэнергия; безопасность дорог.

Viktorov Matvey S., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, matvej-iktorov@yandex.ru

Marinin Oleg O., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, zik1554@yandex.ru

Smyk Alexandra F., Dr. Sc., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, afsmyk@mail.ru

APPLYING THE MAGNUS EFFECT TO THE ROAD INFRASTRUCTURE

Abstract. The article discusses the physical phenomenon of Magnus effect, its features, as well as its use in engineering and in the infrastructure of Russian roads. An experimental setup was assembled to demonstrate the efficiency of this phenomenon in generating electricity. The installation is a wind generator with rotating cylinders instead of conventional paddles. According to the results of our research, it was concluded the future development of this technology in the infrastructure of roads. In particular, it is proposed to use such installations on lights, illuminating the main routes of Russia to save energy consumption. In addition, it seems promising to use wind generators with rotating cylinders at filling stations for electric vehicles.

Key words: the effect of Magnus; lifting force; electricity; safety of roads.

Введение

Для современного мира актуальна проблема экологии и открытие новых источников энергии. Использование ветряков началось еще в 19 веке, но они были мало распространены. Все изменил нефтяной кризис 1970-х годов, а также авария на Чернобыльской атомной станции, которая породила негативное отношение к развитию атомной энергетики. Экономическое развитие многих стран последние несколько десятилетий характеризуется зависимостью от импорта нефти. Чтобы снять эту зависимость ведутся поиски выгодных и возобновляемых альтернативных источников электроэнергии. В качестве таких источников можно рассматривать ветряные генераторы, но значительный их недостаток состоит в том, что при малых значениях скоростей ветра они вырабатывают мало энергии. С помощью известного из физики эффекта Магнуса можно создавать установки, которые позволят улучшить характеристики известных ветряных генераторов.

В физике эффект Магнуса известен достаточно давно и заключается в возникновении выталкивающей силы при обтекании вращающегося тела потоком воздуха или жидкости. Если вместо обычных лопастей ветряков использовать вращающиеся цилиндры, то такая установка сможет вырабатывать электричество и при малых ветрах, то есть, практически, независимо от силы ветра. При определенных значениях скорости ветра вырабатываемая энергия почти в два раза превышает значения, достигаемые обычным ветряком.

Теоретическое объяснение эффекта Магнуса

Эффект Магнуса заключается в возникновении силы, действующей на тело, которое вращается в потоке жидкости или газа. Впервые оно было описано немецким физиком Г. Магнусом в 1853 г. История этого открытия связана с изучением отклонений от обычной траектории в полете

выпущенного из пушки ядра, которые связали с вращением ядра в воздухе [1]. Возникновение подъемной силы для некоторой несущей поверхности показано на рис. 1. Сначала несущая поверхность показана в потенциальном потоке без вихревого движения, затем представлена схема вихревого поля, и наконец, наложение двух полей. Снизу несущего тела оба течения направлены противоположно, вследствие чего жидкость течет медленнее, чем на верхней стороне. Вверху возникает область пониженного давления, и тело испытывает действие подъемной (выталкивающей) силы.

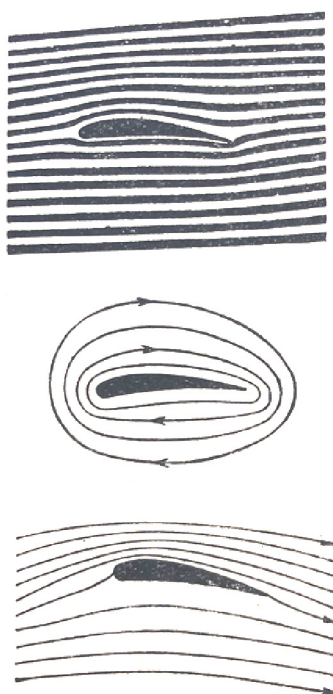


Рис. 1. К возникновению подъемной силы несущей поверхности [2]

Выталкивающая сила, согласно закона Бернулли, возникает из-за разности давлений [3]

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const},$$

где ρ – плотность жидкости; v – скорость потока; h – высота; p – давление; g – ускорение свободного падения. Согласно этому закону, если вдоль линии тока давление жидкости возрастает, то скорость течения убывает, и наоборот.

Вместо несущих поверхностей, рассмотренных выше, можно взять вращающиеся цилиндры. Образование вихревого поля в этом случае будет таким же (рис. 2). При указанном на рис. 2 направлении движения цилиндр будет испытывать подъемную силу в направлении, указанном стрелкой. Действие подъемной силы на вращающийся цилиндр показано на демонстрации с помощью катушки и намотанной на нее ленты (рис. 3). Если дернуть привязанную ленту вбок в горизонтальном направлении, то цилиндр получает горизонтальную скорость, при этом начинает вращаться. В результате вместо горизонтально начинающейся параболы цилиндр улетает вверх и описывает петлю. В спорте при игре в теннис есть так называемый «резаный» удар, когда мяч получает удар по касательной, вращается и летит вверх под действием подъемной силы.

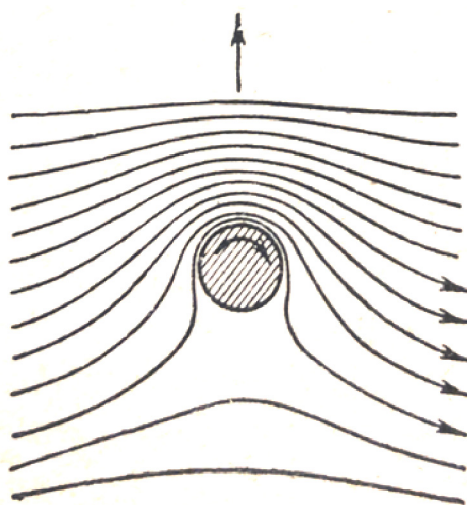


Рис. 2. Линии тока около вращающегося цилиндра

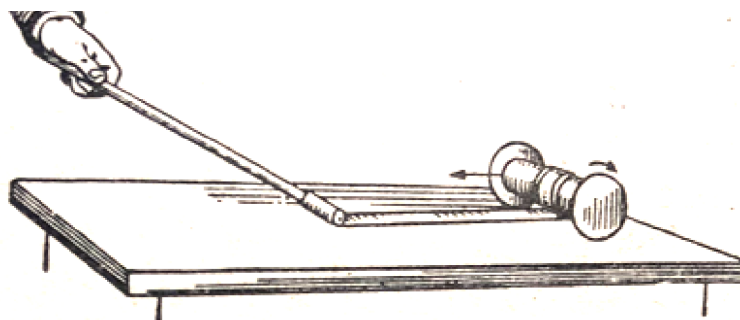


Рис. 3. Подъемная сила вращающегося цилиндра [2]

В приближенных вычислениях формулу для расчета подъемной силы, создаваемой вращением тела в жидкости или газе, можно использовать в виде:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 AC,$$

где ρ – плотность жидкости или газа; v – скорость тела относительно среды; A – поперечная площадь поверхности; C – коэффициент подъемной силы, безразмерная величина, которая определяется опытным путем. Из этой формулы видно, что в ней много составляющих, а, следовательно, и способов изменить силу достаточно много. В формуле сила зависит от квадрата скорости, а значит при средних значениях скорости ветра работа установки будет максимальной.

Если изменить вид цилиндра, создав на его поверхности ряд лопастей, как показано на рис. 4, то под действием воздушной струи цилиндр начнет вращаться без затраты дополнительной энергии от источника тока и, соответственно, вращать систему, с которой цилиндр связан при условии малых сил трения.



Рис. 4. Форма вращающегося цилиндра

Экспериментальная установка

Установка представляет собой генератор и две скрещенные лопасти, на концах которых установлены аналоги вращающихся цилиндров (рис. 5).

Лопасты соединены с генератором, при их вращении начинает вырабатываться электроэнергия. О появлении напряжения в электрической цепи можно судить по накалу подсоединенной лампочки или показаниям мультиметра.



Рис. 5. Вид экспериментальной установки сверху

Вращение двух скрещенных лопастей с закрепленными на концах цилиндрах создается потоком воздуха из обычного фена, предназначенного для сушки волос. Для того чтобы создать равномерный по всей ширине установки воздушный поток, была предложена конструкция, изображенная на рис. 6. На одной стороне цилиндра создается повышенное, на другой пониженное давление относительно среднего значения в воздушном потоке, что вызывает вращение цилиндров и лопастей, на которых они закреплены. Если цилиндры с помощью стопора лишить возможности вращаться, то под действием воздушного потока лопасти также остаются в покое и эффект Магнуса не проявляется. При снятии стопора под действием воздушного потока цилиндры вращаются и приводят во вращение лопасти. Мы измеряли амплитуду напряжения, вырабатываемого генератором. При слабом режиме работы

фена значение напряжения составляло $(0,20 \pm 0,01)$ В и при сильном режиме – $(0,35 \pm 0,01)$ В.

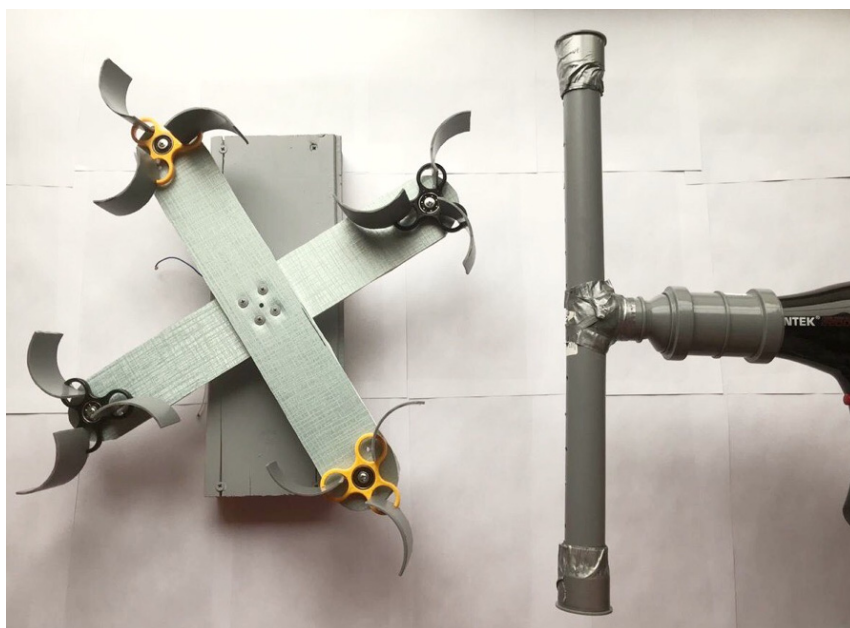


Рис. 6. Вид установки вместе с источником воздушного потока

С помощью электромотора, на валу которого закреплены лопасти, при вращении цилиндров вырабатывается электроэнергия. Подобные конструкции можно устанавливать на фонарные столбы вдоль автомагистралей. На дорогах нашей страны существует много мест, где не установлены фонари освещения, вследствие этого в ночные периоды повышается риск возникновения ДТП. Автомобили движутся с достаточно большой скоростью, набегающий ветер от машин будет раскручивать ветряк, и получаемой электроэнергии будет достаточно для освещения этого же фонаря. Таким образом затраты на потребление электроэнергии будут минимизированы. Для подтверждения сделанных выводов нужны дополнительные исследования, включающие экспериментальное моделирование, учитывающее много других факторов, которые не учитывались в данной работе.

Применения эффекта Магнуса в технике

Эффект Магнуса нашел применение в кораблестроении. Этим физическим явлением воспользовалась одна из немецких компаний и изготовила корабль с вращающимися цилиндрами – парусами в качестве дополнительного источника тяги [4]. На корабле, принадлежащем «Фонду Кусто», была запатентована система для увеличения мощности дизельных двигателей в виде турбопаруса (рис. 7). При обтекании воздуха вращающихся вертикальных цилиндров образуется сила, действующая на цилиндры, перпендикулярная направлению потока.



Рис. 7. Корабль «Фонда Кусто» [5]

Несмотря на реальные преимущества использования вращающихся цилиндров, к такой технологии относятся скептически, и она не получила широкого распространения. Возможно ли применить подобную технологию в автомобиле? Современные тренды автомобилестроения стремятся к переходу на электродвигатели. Но основная проблема, которая волнует автолюбителей, – это дальность хода батареи. Если предположить, что в качестве зарядки для батареи во время движения будут использовать небольшие ветряки с вращающимися цилиндрами, то вырабатываемой энергии будет мало, к тому же будет увеличиваться стоимость автомобиля и есть большой риск повредить ветряк из-за слишком больших нагрузок при движении автомобиля на больших скоростях. Но если рассматривать

ветряки в качестве генераторов на заправках, оборудованных системой зарядки для электромобилей, то такая идея будет являться перспективной. На территории заправочной станции можно установить несколько таких ветряков, которые будут работать круглосуточно и добывать электричество для станции зарядки автомобилей.

Заключение

В статье рассмотрены физические основы эффекта Магнуса. С помощью собранной экспериментальной установки наблюдали преобразование энергии воздушного потока в электрическую энергию. Предлагается применять подобные установки для освещения в инфраструктуре автомобильных дорог, а также для зарядки аккумуляторов электромобилей на специальных заправках.

Список литературы

1. Прандтль, Л. Эффект Магнуса и ветряной корабль / Л. Прандтль // Успехи физических наук. – 1925. – Т. 5; вып. 1-2. – С. 1–27.
2. Поль, Р.В. Механика, акустика и учение о теплоте / Р.В. Поль. – М.: Гостехиздат, 1957. – С. 228–229.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т. I. Механика / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1989. – 576 с.
4. URL: <http://www.siliconrepublic.com/green-tech/item/17300-eco-friendly-e-ship-1-docks/>
5. URL: <http://www.cousteau.org/technology/turbosail>

References

1. Prandtl L. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 1925, vol. 5, no. 1-2, pp. 1–27.
2. Pol R.W. *Mehanika, akustika i uchenie o teplote* (Mechanics, acoustics and teachings of heat), Moscow, Gostehizdat, 1957, pp. 228–229.
3. Sivuhin D.V. *Obzhii kurs fiziki, volume 1, mehanika* (General course of Physics volume 1, Mechanics), Moscow, Nauka, 1989, 576 p.
4. URL: <http://www.siliconrepublic.com/green-tech/item/17300-eco-friendly-e-ship-1-docks/>
5. URL: <http://www.cousteau.org/technology/turbosail>