

Типы ветродвигателей. Новые конструкции и технические решения

Ветроэнергетика поражает многообразием и необычным дизайном конструкций ветрогенераторов. Существующие конструкции ветрогенераторов, а также предлагаемые проекты ставят ветроэнергетику вне конкуренции по оригинальности технических решений по сравнению со всеми остальными мини-энергокомплексами, работающими с использованием ВИЭ.

В настоящее время существует множество различных концептуальных конструкций ветрогенераторов, которые по типу ветроколес (роторов, турбин, винтов) можно разделить на два основных вида. Это ветродвигатели с горизонтальной осью вращения (крыльчатые) и с вертикальной (карусельные, так называемые Н-образные турбины).

Ветряные двигатели с горизонтальной осью вращения (рис. 1). В ветряках с горизонтальной осью вращения роторный вал и генератор располагаются наверху, при этом система должна быть направлена на ветер. Малые ветряки направляются с помощью флюгерных систем, в то время как на больших (промышленных) установках есть датчики ветра и сервоприводы, которые поворачивают ось вращения на ветер. Большинство промышленных ветрогенераторов оснащены коробками передач, которые позволяют системе подстраиваться под текущую скорость ветра. В силу того, что мачта создает турбулентные потоки после себя, ветроколесо обычно ориентируется по направлению против воздушного потока. Лопасти ветроколеса делают доста-



Рис. 1. Ветродвигатель с горизонтальной осью вращения

точно прочными, чтобы предотвратить их соприкосновение с мачтой от сильных порывов ветра. Для ветряков такого типа не нужны установки дополнительных механизмов ориентации по ветру.

Ветроколесо может быть выполнено с различным количеством лопастей: от однолопастных ветрогенераторов с контргрузами до многолопастных (с числом лопастей до 50 и более). Ветроколеса с горизонтальной осью вращения выполняют иногда фиксированными по направлению, т. е. они не могут вращаться относительно вертикальной оси, перпендикулярной направлению ветра. Такой тип ветрогенераторов используется лишь при наличии одного господствующего направления ветра. В большинстве же случаев система, на которой закреплено ветроколесо (так называемая головка), выполняется поворотной, ориентирующейся по направлению ветра. У малых ветрогенераторов для этой цели применяются хвостовые оперения, а у больших ориентацией управляет электроника.

Для ограничения частоты вращения ветроколеса при большой скорости ветра применяется ряд методов, в том числе установка лопастей во флюгерное положение, использование клапанов, которые стоят на лопастях или вращаются вместе с ними, и др. Лопасти могут быть непосредственно закреплены на валу генератора, либо вращающийся момент может передаваться от его обода через вторичный вал к генератору или другой рабочей машине.

В настоящее время высота мачты промышленного ветрогенератора варьируется в диапазоне от 60 до 90 м. Ветроколесо совершает 10–20 оборотов в минуту. В некоторых системах есть подключаемая коробка передач, позволяющая ветроколесу вращаться быстрее или медленнее, в зависимости от скорости ветра, при сохранении режима выработки электроэнергии. Все современные ветрогенераторы оснащены системой



Рис. 2. Ветрогенератор WindRotor Mini Vertical, разработанный итальянской компанией Rorates на основе установки Дарье (пусковая скорость ветра – 3 м/с, максимальная – не ограничена)

возможной автоматической остановки на случай слишком сильных ветров.

Основные достоинства горизонтальной оси следующие: изменяемый шаг лопаток турбины, позволяющий по максимуму использовать энергию ветра в зависимости от атмосферных условий; высокая мачта позволяет «добираться» до более сильных ветров; высокая эффективность благодаря направлению ветроколеса перпендикулярно ветру.

В то же время горизонтальная ось имеет ряд недостатков. Среди них – высокие мачты высотой до 90 м и длинные лопасти, которые трудно транспортировать, массивность мачты, необходимость направления оси на ветер и т. д.

Ветряные двигатели с вертикальной осью вращения. Основным преимуществом такой системы является отсутствие необходимости направления оси на ветер, так как ВЭУ использует ветер, поступающий с любого направления. Кроме того, упрощается конструкция и уменьшаются гироскопические нагрузки, вызывающие дополнительные напряжения в лопастях, системе передач и прочих элементах установок с горизонтальной осью вращения. Особенно эффективны такие установки в областях с переменным ветром. Вертикально-осевые турбины работают при низких скоростях ветра и любых его направлениях без ориентации на ветер, но имеют малый КПД.

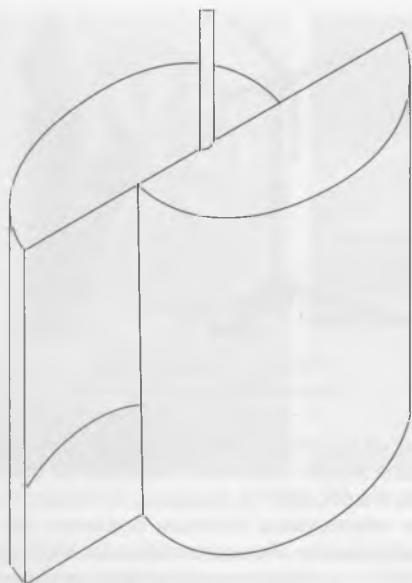


Рис. 3. Ротор Савониуса

Автором идеи создания турбины с вертикальной осью вращения (Н-образной турбины) является французский инженер Джордж Джин Мари Дариус (Жан Мари Дарье) [2]. Этот тип ветрогенератора был запатентован в 1931 г. В отличие от турбин с горизонтальной осью вращения Н-образные турбины «захватывают» ветер при изменении его направления без изменения положения самого ротора. Поэтому ветрогенераторы такого типа не имеют «хвоста» и внешне напоминают бочку. Ротор имеет вертикальную ось вращения и состоит из двух – четырех изогнутых лопастей (рис. 2 и 3).

Лопастки образуют пространственную конструкцию, которая вращается под действием подъемных сил, возникающих на лопастях от ветрового потока. В роторе Дарье коэффициент использования энергии ветра достигает значений 0,30–0,35. В последнее время проводятся разработки роторного двигателя Дарье с прямыми лопастями (рис. 2). Сейчас ветрогенератор Дарье может рассматриваться в качестве основного конкурента ветрогенераторов крыльчатого типа.

Установка имеет довольно высокую эффективность, но при этом образуются серьезные нагрузки на мачту. Система также обладает большим стартовым моментом, который с трудом может быть создан ветром. Чаще всего это производится внешним воздействием.

Другой разновидностью ветроколеса является ротор Савониуса (рис. 3), созданный финским инженером Сигуртом Савониусом в 1922 г. Вращающий момент возникает при обтекании ротора потоком воздуха за счет разного сопротивления выпуклой и вогнутой частей ротора. Колесо отличается простотой, но имеет

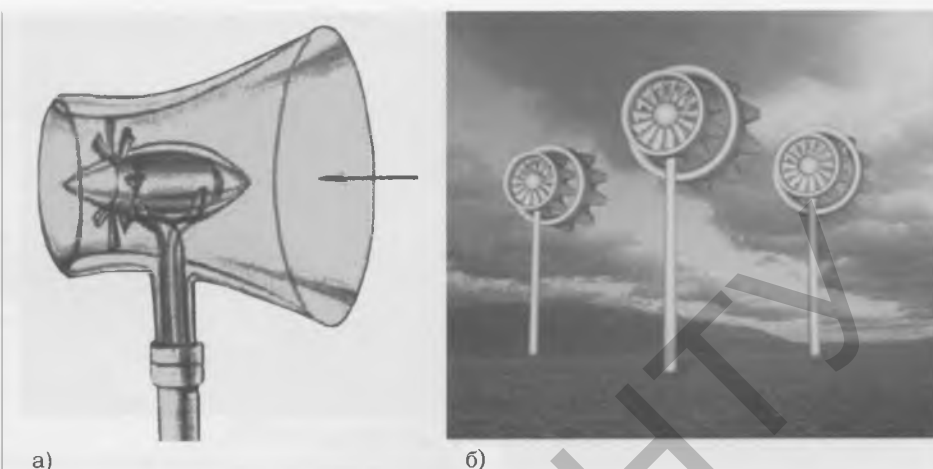


Рис. 4. Ветрогенераторы с уплотнителем:

а) ветродвигатель, предложенный доктором технических наук Т. Каримбаевым (завод ЛОЭМ «Красная звезда»);

б) ветроустановка WindCube компании Green Energy с «ветроуловителем», который действует по принципу «воронки» и позволяет генерировать электроэнергию при ветре от 2,2 м/с

очень низкий коэффициент использования энергии ветра – всего 0,1–0,15.

Главное преимущество вертикальных ветрогенераторов в том, что они не нуждаются в механизме ориентации на ветер. У них генератор и другие механизмы размещаются на незначительной высоте возле основания. Все это существенно упрощает конструкцию. Рабочие элементы располагаются близко к земле, что облегчает их обслужи-

вание. Невысокая минимальная рабочая скорость ветра (2–2,5 м/с) производит меньше шума.

Однако серьезным недостатком этих ветродвигателей является значительное изменение условий обтекания крыла потоком за один оборот ротора, циклично повторяющееся при работе. Из-за потерь на вращение против потока воздуха большинство ветрогенераторов с вертикальной осью вращения почти вдвое ме-

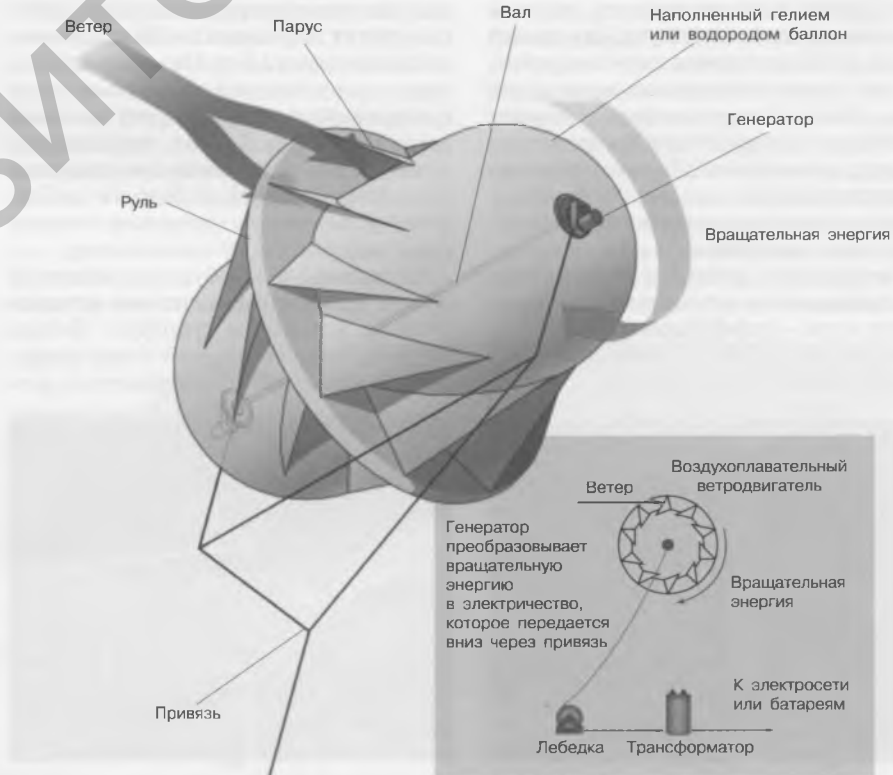


Рис. 5. Воздухоплавающий генератор [11]

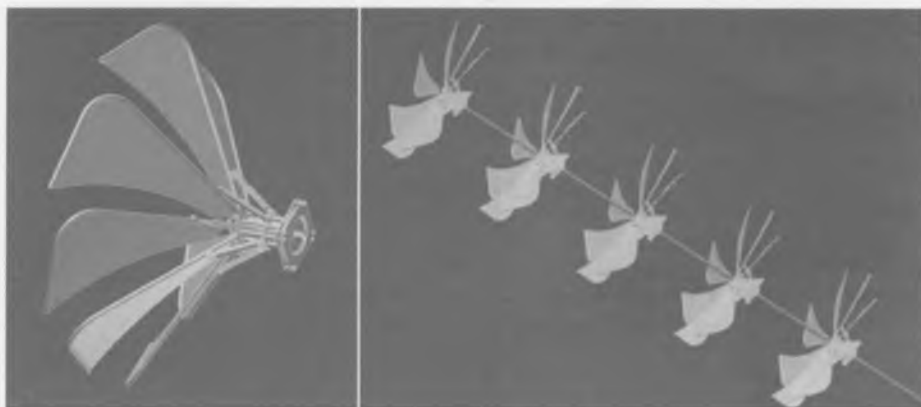


Рис. 6. Ветроголовка «Ветролов» [5]

нее эффективны, чем с горизонтальной осью.

Поиск новых решений в ветроэнергетике продолжается, и уже есть оригинальные изобретения, например турбопарус. Ветрогенератор монтируется в виде длинной вертикальной трубы в 100 м высотой, в которой из-за температурного градиента между концами трубы возникает мощный воздушный поток. Сам электрогенератор вместе с турбиной предлагается установить в трубе, в результате чего поток воздуха обеспечит вращение турбины. Как показывает практика эксплуатации таких ветрогенераторов, после раскрутки турбины и специального подогрева воздуха у нижнего края трубы даже при тихом ветре (и штиле) в трубе устанавливается сильный и стабильный поток воздуха. Это делает такие ветроустановки перспективными, но только в безлюдных местностях (при работе такая установка засасывает в трубу не только мелкие предметы, но и крупных животных). Данные установки окружают специальной защитной сеткой, а систему управления располагают на достаточном расстоянии.

Специалисты работают над созданием специального устройства для уплотнения ветра – **диффузора** (уплотнителя энергии ветра). За год ветродвигатель этого типа успевает «поймать» в 4–5 раз

больше энергии, чем обычный. Высокая скорость вращения ветроколеса достигается с помощью диффузора. В узкой его части воздушный поток особенно стремителен, даже при сравнительно слабом ветре (рис. 4).

Как известно, скорость ветра с высотой увеличивается, что создает более благоприятные условия для использования ветрогенераторов. Воздушные змеи были изобретены в Китае примерно 2300 лет назад. Идея использования змеек для подъема ветрогенератора на высоту постепенно находит реализацию. Один из вариантов конструкции такого воздухоплавательного генератора приведен на рис. 5.

Швейцарские конструкторы из компании Епра представили новую конструкцию надувных воздушных змеев, которые смогут поднимать до 100 кг при массе самого крыла 2,5 кг. Их можно использовать для установки на морских судах и подъема на большую высоту (до 4 км) ветряных турбин. В 2008 г. подобная система прошла испытания при плавании контейнеровоза Beluga SkySails из Германии в Венесуэлу (экономию топлива составила свыше 1 000 долл./сутки).

Например, в Гамбурге компанией Beluga Shipping такая система установлена на дизельном сухогрузе Beluga SkySails. Воздушный змей в виде парашюта размером 160 м² поднимается в воз-



Рис. 7. Портативный ветрогенератор Eolic [3]

дух на высоту до 300 м за счет подъемной силы ветра. Парашюан разделен на отсеки, в которые по команде компьютера по эластичным трубкам подается сжатый воздух. Компания Beluga SkySails к 2013 г. собирается оснастить такой системой около 400 грузовых судов.

Интересное решение имеет конструкция **ветроголовки «Ветролов»** (рис. 6). Вращающийся корпус генератора выполнен достаточно длинным (около 0,5 м), в средней части (на промежутке от фланца генератора до лопастей) – механизм складывания лопастей. По принципу действия он похож на механизм раскрывания автоматического зонта, а лопасти напоминают крыло дельтаплана. Для того чтобы лопасти не упали друг на друга во время складывания, оси их крепления несколько смещены. Четыре лопасти (через одну) идут вовнутрь, а четыре – снаружи. После складывания площадь лобового сопротивления ветряка уменьшается почти в четыре раза, а коэффициент аэродинамического сопротивления – почти в два.

В верхней части опоры ветряка устанавливается «коромысло» с вертикальной осью вращения. На одном его конце расположен ветрогенератор, на другом – противовес. При слабом ветре ветрогенератор посредством противовеса поднят выше верхней отметки опоры и ось ветряка при этом горизонтальна. При усилении ветра давление на ветроколесо рас-



Рис. 8. Дизайнерский ветрогенератор Revolution Air



Рис. 9. Ветрогенератор Energy Ball



Рис. 10. Ветрогенератор Третьякова [4]

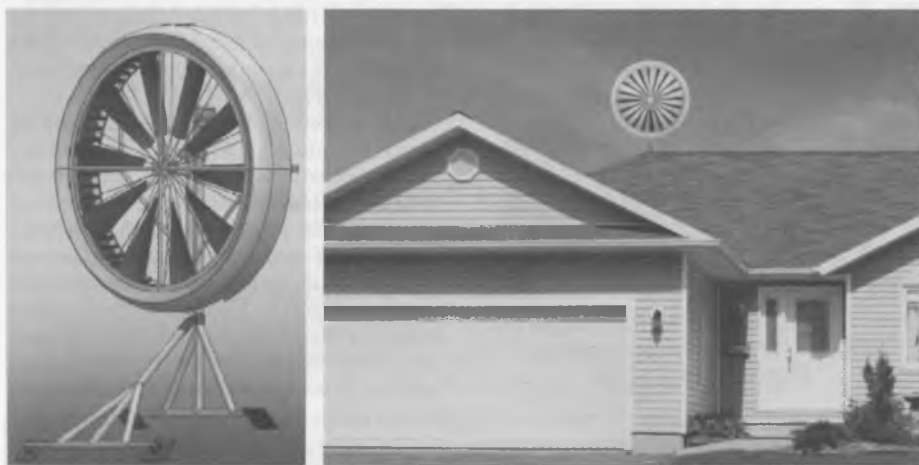


Рис. 11. Ветроустановка Windgate

тет и оно начинает опускаться, поворачиваясь вокруг горизонтальной оси. Таким образом работает еще одна система «ухода» от сильного ветра. Конструкция позволяет наращивать коромысла так, что ветрогенераторы устанавливаются друг за другом. Получается своеобразная гирлянда из одинаковых модулей, которые при слабом ветре стоят один выше другого, а при сильном уходят вниз, «прячась» в «ветровую тень» ветроколеса. Здесь также заложена способность системы адаптироваться к внешней нагрузке.

Конструкторы Маркос Мадиа, Серджио Оаши и Хуан Мануэль Пантано разработали портативный ветрогенератор Eolic (рис. 7). Для изготовления устройства использовались только алюминий и волокно из углеродных материалов. В собранном виде турбина Eolic имеет длину около 170 см. Для приведения Eolic из сложенного в рабочее состояние потребуется 2–3 человека и займет этот процесс 15–20 мин. Данный ветрогенератор может складываться для переноски.

Сегодня есть много дизайнерских проектов и разработок. Так, французский дизайнер Филипп Старк создал ветроге-

нератор Revolution Air (рис. 8). Проект дизайнерского ветряка носит название «Демократичная экология».

Международная группа дизайнеров и инженеров Home-energy представила свой продукт – ветрогенератор Energy Ball (рис. 9). Главной особенностью новинки является компоновка на нем лопастей по типу сферы. Все они соединены с ротором обоими концами. Когда ветер проходит сквозь них, он дует параллельно ротору, что увеличивает КПД генератора. Energy Ball может работать даже при очень низкой скорости ветра и производит гораздо меньше шума, чем обычные ветряки [6].

Уникальную ветроустановку создали конструкторы из Самары (рис. 10). При использовании в городской среде она дешевле, экономичнее и мощнее европейских аналогов. Ветрогенератор Третьякова представляет собой воздухозаборник, который улавливает даже относительно слабые воздушные потоки. Новинка начинает вырабатывать полезную энергию уже при скорости 1,4 м/с. Кроме того, не нужен дорогостоящий монтаж: установку можно ставить на здание, мачту,

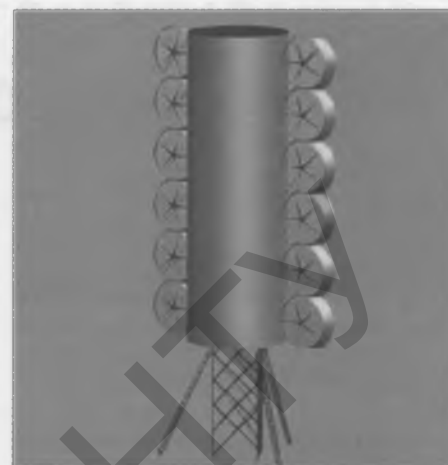


Рис. 12. Ветроустановка Optiwind

мост и т. д. Она имеет высоту 1 м и длину 1,4 м. КПД постоянный – около 52 %. Мощность промышленного аппарата – 5 кВт. На расстоянии 2 м шум от ветростанции составляет менее 20 Дб (для сравнения: шум вентилятора – от 30 до 50 Дб).

Американская компания Wind Tronics из Мичигана разработала компактную ветровую установку для применения в частных домохозяйствах. Разработчиком технологии является Wind Tronics, а производственный гигант Honeywell наладил изготовление ветровых установок (рис. 11). Дизайн предусматривает нулевой ущерб окружающей среде.

В этой установке используется турбинная безредукторная крыльчатка Blade Tip Power System (BTPS), что позволяет ветрогенератору работать в гораздо более широком диапазоне скоростей ветра, а также снизить механическое сопротивление и вес турбины. Wind Tronics начинает вращаться при скорости ветра всего 0,45 м/с и работоспособна до скорости 20,1 м/с! Расчеты показывают, что такая турбина генерирует электроэнергию в среднем на 50 % чаще и дольше, чем традиционные ветрогенераторы. Кстати, автоматика



Рис. 13. Ветроустановка GEDAYC



Рис. 14. Ветроустановка Honeywell



Рис. 15. Ветроустановка с магнитной левитацией – турбина Maglev



Рис. 16. Коттедж с ветрогенератором, который установлен на вышке «по-Шухову» высотой 12 м



Рис. 17. Ветрогенератор Mobile Wind Turbine

с постоянно подключенным к ней анемометром следит за скоростью и направлением ветра. При достижении максимальной рабочей скорости турбина просто поворачивается к ветру обтекаемым боком. Автоматика системы немедленно реагирует на переохлажденный дождь, способный вызвать обледенение. Технология уже запатентована более чем в 120 странах.

Интерес к малым ветровым турбинам растет во всем мире. Многие из компаний, работающих над решением этой проблемы, вполне преуспели в создании собственных оригинальных решений.

Компания Optiwind выпускает оригинальные ветровые установки **Optiwind 300** (300 кВт, стоимость – 75 тыс. евро) и **Optiwind 150** (150 кВт, стоимость – 35 тыс. евро). Они предназначены для коллективной экономии энергии в поселках и фермерских хозяйствах (рис. 12). Основная идея – сбор энергии ветра наборными конструкциями из нескольких турбин на приличной высоте. Optiwind 300 комплектуется 61-метровой башней, платформа акселератора имеет 13 м в диаметре, а диаметр каждой турбины составляет 6,5 м [6].

Необычный вид имеет конструкция турбины **GEDAYC** (рис. 13). Малый вес позволяет турбине эффективно вращать электрогенератор при скорости ветра 6 м/с. Новая конструкция лопастей использует принцип, подобный «системе» воздушного змея. Турбины GEDAYC уже установлены на трех ветрогенераторах мощностью 500 кВт, снабжающих энергией горные выработки. Установка турбин GEDAYC и их опытная эксплуатация показали, что благодаря новой конструкции турбины легче, удобнее в транспортировке и проще в обслуживании.

Компанией Earth Tronics разработан новый тип «домашних» ветряных турбин **Honeywell** (рис. 14). Система позволяет вырабатывать электроэнергию на кончиках лопастей, а не на оси (как известно, скорость вращения концов лопастей гораздо выше скорости вращения оси). Таким образом, турбина Honeywell не использует редуктор и генератор, как в обычных ветрогенераторах, что упрощает конструк-

цию, уменьшает ее вес и порог скорости ветра, при котором ветрогенератор начинает производить электроэнергию.

В Китае создан опытный проект ветрогенератора с магнитной левитацией. Магнитная подвеска позволила снизить стартовую скорость ветра до 1,5 м/с и соответственно на 20 % повысить суммарную отдачу генератора в течение года, что должно снизить стоимость вырабатываемой электроэнергии.

Компания Maglev Wind Turbine Technologies из Аризоны намерена производить ветровые турбины с вертикальной осью **Maglev Turbine** максимальной мощностью 1 ГВт. Экзотическая модель ветровой турбины выглядит как высотное здание, но по отношению к своей мощности она небольшая (рис. 15). Одна турбина Maglev может обеспечить энергией 750 тыс. домов и занимает площадь (вместе с зоной отчуждения) около 40 га. Придумал эту турбину изобретатель Эд Мазур, основатель компании MWTT. Maglev Turbine плавает на магнитной подушке. Главные компоненты новой установки находятся на уровне земли, их проще обслуживать. В теории новая турбина нормально работает как при крайне слабом ветре, так и при очень сильном (свыше 40 м/с). Компания намерена открыть научные и образовательные центры поблизости от своих турбин.

При изучении творческого наследия гениального русского инженера Владимира Шухова (1853–1939 гг.) специали-

сты ООО «Инбитек-ТИ» обратили внимание на его идеи использования стальных стержневых гиперблоидов в архитектуре и строительстве.

Потенциал подобных конструкций сегодня до конца не изучен и не исследован. Известно также, что Шухов называл свои работы с гиперблоидами «исследованиями». На основе его идей появилась разработка ветрогенераторов роторного типа абсолютно новой конструкции (рис. 16) [11]. Подобная конструкция позволит получать электроэнергию даже при очень малых скоростях ветрового потока. Для запуска из состояния покоя необходима скорость ветра 1,4 м/с. Это достигнуто за счет использования эффекта левитации ротора ветрогенератора. Ветрогенератор подобного типа способен начать работу даже в восходящих потоках воздуха, что имеет место, как правило, рядом с рекой, озером, болотом.

Еще один любопытный проект – ветрогенератор **Mobile Wind Turbine** – разработали дизайнеры студии Pope Design (рис. 17) [10]. Это мобильный ветрогенератор, расположенный на базе грузовой машины. Для управления Mobile Wind Turbine нужен лишь оператор-водитель. Этот ветрогенератор можно будет использовать в зонах стихийных бедствий, во время ликвидации последствий ЧП и при восстановлении инфраструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние ветроэнергетики, предлагаемые конструкции и технические решения ветрогенераторов и «уплотнителей ветра» позволяют создавать мини-ветроэлектростанции для частного использования практически повсеместно. Порог скорости «трогания» ветрогенератора значительно снижен благодаря техническим разработкам, массогабаритные показатели ВЭУ также уменьшаются. Это позволяет эксплуатировать ветроэнергетические установки в «домашних» условиях, что актуально и для Беларуси.

Светлана КОНСТАНТИНОВА,
кандидат технических наук,
доцент БНТУ

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков Р. А., Калининченко А. Б. Вихревая электроэнергетика // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 11.
2. [Http://www.vetrogenerator.ru](http://www.vetrogenerator.ru).
3. [Http://www.aenergy.ru/vetrogenerator](http://www.aenergy.ru/vetrogenerator).
4. [Http://www.ecology.md/section.php](http://www.ecology.md/section.php).
5. [Http://www.vetronet.com/category](http://www.vetronet.com/category).
6. [Http://www.3dnews.ru/news/610900](http://www.3dnews.ru/news/610900).
7. [Http://www.ra-electric.ru](http://www.ra-electric.ru).
8. [Http://www.rosteploc.com.ru](http://www.rosteploc.com.ru).
9. [Http://www.dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1329656](http://www.dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1329656).
10. [Http://www.megaobzor.com/mobil-wind-turbine-vetrogenerator-na-kolesah.html](http://www.megaobzor.com/mobil-wind-turbine-vetrogenerator-na-kolesah.html).
11. Власов В. Н. Есть ли будущее у ветрогенератора? – М.: Академия Тринитариума, 2007. – Эл. № 77-6567.