

ОСЕВЫЕ УСКОРИТЕЛИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВЕТРОВЫХ ПОТОКОВ

С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, К.А. Горинов

ФГБНУ ВИЭСХ

Россия 109456, Москва, пр. 1-й Вешняковский, д. 2

тел.: (499) 171-19-20, 171-02-74; факс: (499) 170-51-01; e-mail: Dss.61@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.07.003

Заключение совета рецензентов: 09.04.15 Заключение совета экспертов: 16.04.15 Принято к публикации: 23.04.15

В статье рассмотрена перспектива использования ветроустановок для энергоснабжения относительно небольших и рассредоточенных объектов, расположенных в зонах с малой плотностью нагрузки, удаленных от крупных электрических сетей, нефте- и газопроводов. В сельской местности, где ветер и вода являются основными недорогими экологически чистыми источниками энергии, имеются широкие перспективы для электрификации удаленных ферм, отгонных пастбищ, а также для инфраструктуры систем связи.

На примере ветровых потоков рассмотрен способ ускорения низкопотенциальных потоков внешней среды. Выявлена необходимость исследовать применение различных конструкций ускорителей потока для повышения эффективности ветровых энергоустановок применительно к районам низкой ветровой активности.

В статье представлено описание эксперимента на испытательном стенде, предназначенном для имитации работы ветроприемного устройства. Испытательный стенд представляет собой диск, пропускающий воздушный поток через специальные прорези с изменяющимися размерами.

Одной из задач данного исследования является создание конструкции ветроприемного устройства с осевым аэродинамическим ускорителем ветрового потока. В статье представлены компьютерная и физическая модели ветроприемного устройства. Использование предлагаемого ветроприемного устройства позволит увеличить выработку энергии как в суточном, так и в годовом периоде.

Ключевые слова: сельская местность, низкопотенциальный поток, ветроприемное устройство, концентратор потока, конфузор, диффузор, труба Вентури, эффективность, район низкой ветровой активности, испытательный стенд, ускоритель ветрового потока.

THE AXIS ACCELERATORS OF THE LOW-POTENTIAL WIND FLOW

S.S. Dorzhiev, E.G. Bazarova, K.A. Gorinov

All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture

2, 1-st Veshnyakovskiy Str., Moscow, 109456 Russian Federation

тел.: (499) 171-19-20, 171-02-74; факс: (499) 170-51-01; e-mail: Dss.61@mail.ru

Referred 09 April 2015 Received in revised form 16 April 2015 Accepted 23 April 2015

The article discusses the prospect of using wind turbines to supply power to a relatively small and dispersed facilities located in areas with low load density remote from major electricity networks, oil and gas pipelines. In rural areas, where wind and water are essentially one of the cheapest sources of clean energy, there are broad prospects for the electrification of remote farms, rangeland, and infrastructures for communication systems.

Then the article considers a method of accelerating the low-potential flows of external environment on the example of wind flow and identifies that the research on the application of different designs of flow boosters is important in order to increase the efficiency of wind power plants in relation to areas of low wind activity.

The article presents the description of the experiment on the test stand designed to simulate the operation of wind installation. The test bed is a disc that let air flow through the slits with varying sizes.

One of the objectives of the research is the creation of the wind installation design with axial aerodynamic wind flow accelerator. The article presents computer and physical models of wind installation. The use of the proposed wind installation will increase energy production both in daily and annual period.

Keywords: rural areas, low-potential flow, wind installation, flux concentrator, confuser, diffuser, Venturi tube, efficiency, area of low wind activity, test stand, wind flow accelerator.



Доржиев Сергей Содномович
Sergei S. Dorzhiev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) ФАНО России.

Образование: Восточно-Сибирский технологический институт (ВСТИ).

Область научных интересов: энергетика, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, аэродинамика, энергосбережение.

Публикации: 35
e-mail: Dss.61@mail.ru

Information about the author: PhD, Senior Researcher of The All-Russian Scientific Research Institute for electrification of agriculture (VIESH) at the Russian Academy of Agriculture Sciences.

Education: Eastern Siberian Technological Institute.

Research area: energy, renewable energy, wind turbines, aerodynamics, energy saving.

Publications: 35.



Базарова Елена Геннадьевна
Elena G. Bazarova

Сведения об авторе: канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) ФАНО России.

Образование: Восточно-Сибирский технологический институт (ВСТИ).

Область научных интересов: энергетика, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, аэродинамика, энергосбережение.

Публикации: 25.
e-mail: Bazelgen08@mail.ru

Information about the author: PhD, leading researcher of The All-Russian Scientific Research Institute for electrification of agriculture (VIESH) at the Russian Academy of Agriculture Sciences.

Education: Eastern Siberian Technological Institute.

Research area: energy, renewable energy, wind turbines, aerodynamics, energy saving.

Publications: 25.



Горинов Константин Аркадьевич
Konstantin A. Gorinov

Сведения об авторе: аспирант ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) ФАНО России.

Образование: Марийский государственный университет (МарГУ).

Область научных интересов: энергетика, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, аэродинамика, энергосбережение.

Публикации: 5.
e-mail: skier-tu@mail.ru

Information about the author: post-graduate student of The All-Russian Scientific Research Institute for electrification of agriculture (VIESH) at the Russian Academy of Agriculture Sciences.

Education: Mari State University.

Research area: energy, renewable energy, wind turbines, aerodynamics, energy saving.

Publications: 5.



Введение

Для наиболее экономичного энергоснабжения потребителей необходимо привлекать различные источники энергии как централизованные, так и местные. Поэтому в последние годы в России и за рубежом расширились работы по использованию возобновляемых источников энергии. Применение энергоустановок, преобразующих энергию ветра и воды в любой другой вид энергии, направлено прежде всего на улучшение энергоснабжения относительно небольших и рассредоточенных объектов, расположенных в зонах с малой плотностью нагрузки, удаленных от крупных электрических сетей, нефте- и газопроводов [1].

Анализ существующих ветроустановок показывает, что эффективно применяются ВЭУ в районах со среднегодовой скоростью ветра от 7 м/с и выше, где суточные и месячные гистограммы скорости ветра ровные. Особенно хорошо зарекомендовали себя в указанных районах быстроходные малоллопастные ветроагрегаты. Однако в районах со среднегодовой скоростью ветра 4–7 м/с проведенные исследования

показывают, что быстроходные малоллопастные ВЭУ, рассчитанные на быстроходность $Z = 6...9$, работают в расчетном режиме от 152 до 720 часов или от 2 до 8 % в год [2].

Анализ существующих моделей конструкций ускорителей потока

Основные требования, предъявляемые к ветроагрегатам потребителями и специалистами, заключаются в необходимости обеспечить устойчивую работу энергетической установки даже при слабых скоростях ветра (3–3,5 м/с). В данный момент актуальными являются исследования возможности применять различные конструкции ускорителей потока для повышения эффективности ветровых энергоустановок применительно к районам низкой ветровой активности. В последнее время разработано большое количество предложений по применению в конструкциях ветроустановок дополнительных устройств (концентраторов потока, потокоускоряющих элементов), призванных повысить эффективность использования ветровой энергии (рис. 1) [3].



Рис. 1. Концентраторы потока, призванные повысить эффективность использования ветровой энергии
Fig. 1. The flux concentrators that are designed to improve the efficiency of the wind energy use

Общей характерной особенностью этих установок является то, что для организованного подвода и отвода воздушного потока к рабочему колесу и от него используются различного типа потоконап-

равляющие устройства или концентраторы потока. Концентраторы потока представляют собой конфузорные или диффузорные устройства, устанавливаемые в непосредственной близости от рабочего колеса

энергоустановки. Предположительно, в результате их действия повышается скорость потока в зоне колеса и, следовательно, коэффициент использования энергии потока.

Однако задача по концентрации воздушных потоков оказалась совсем не простой. Даже такие простые устройства, как конфузоры оказались малоэффективны. Если отношение диаметров входящего и исходящего отверстий невелико и составляет 1,3–1,5, то можно получить прирост скорости потока на 20–25 %. Дальнейшее увеличение входного отверстия конфузора никакого прироста скорости не даёт, хотя и такой прирост повысит эффективность ветрогенератора почти в 2 раза. Но надо понимать, что будет такой же прирост энергии, если увеличить в два раза ометаемую ветряком площадь. В этом случае размер крыльев ветряка надо увеличить в 1,4 раза (как раз до размеров входного отверстия конфузора). Получается, что применение конфузоров неэффективно – проще увеличить размер крыльев, чем собирать конструкцию с конфузуром, которую надо при этом ещё ориентировать по ветру [4].

Моделирование работы осевых ускорителей ветрового потока

Попытаемся разобраться, почему обычный конфузур оказался таким неэффективным концентратором. В случае ламинарного потока, направленного прямо по оси конфузора, происходит разделение потока на две части. Центральная часть, которая практически не встречает сопротивления, пролетает через конфузур, слегка ускоряясь. А остальная часть потока начинает завихряться, оставаясь со стороны входного отверстия конфузора, так как встречает большое сопротивление. Работа над формой конфузора позволяет прибавить к выходной скорости лишь незначительную величину – несколько процентов, но проблему не решает. Поэтому сейчас ни одна крупная фирма в мире не производит мощные ветрогенераторы с конфузурными.

С другой стороны, повсеместно в расходомерах используются трубы Вентури (трубы с конусными сужениями с обеих сторон), работающие по принципу перепада давления. В основе принципа их действия лежит эффект Вентури и закон Бернулли – в узкой части трубки давление уменьшается, а скорость потока возрастает. Трубы Вентури имеют наименьшие потери давления (напора) среди сужающих поток устройств. Известно, что потери напора при использовании трубы Вентури составляют от 5 до 20 % (при изменении отношения площади сечения трубопровода к горловине от 1,6 до 10,0), причём для длинных труб Вентури, а для коротких потери ещё меньше. Но это же показывает, что концентрацию воздушных потоков (и не только воздушных) можно увеличить в 10–15 раз, теряя только до 20–30 % энергии. Найдя технологически простые и дешёвые варианты таких конструкций, можно увеличить эф-

фективность ветроэнергетики на порядок, так как можно уменьшить на порядок затраты на строительство ветроэлектростанций и стоимость обслуживания, а также увеличить срок их службы.

Теория идеального ветряка, ограничивающая коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) значением 59,3 %, предполагает, что отходящий от ветряка воздух, имеющий скорость в три раза меньше скорости ветра, сплошным цилиндром уходит в бесконечность. На практике уже на незначительном расстоянии от ветряка окружающий быстрый поток размывает отходящий цилиндр и ускоряет его. Ускорение вызывает понижение давления, которое передается на заднюю сторону лопастей и дает дополнительную мощность. Поэтому концентраторы, которые направляют струи наружного быстрого воздуха внутрь отходящего медленного потока, вызывают повышение КИЭВ [5].

Согласно классической теории идеального ветряка, потеря скорости в плоскости ветроколеса равна одной трети скорости ветра, а полная потеря скорости ветра за ветроколесом в два раза больше потери скорости в плоскости его вращения. Таким образом, скорость ветра в плоскости ВПУ есть среднее арифметическое скорости ветра впереди ветроколеса и скорости ветра за колесом.

$$V_{\text{ВПУ}} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (1)$$

где V_1 – скорость ветра перед ветроколесом; V_2 – скорость ветра за ветроколесом.

Мы заменим ветроколесо кругообразным пропускающим воздух диском (рис. 2) и примем, что в сечении диска у ветра отнимается столько энергии, что скорость за диском достигает только значения $V_2 = 1/3 V_1$ (в идеальном случае).

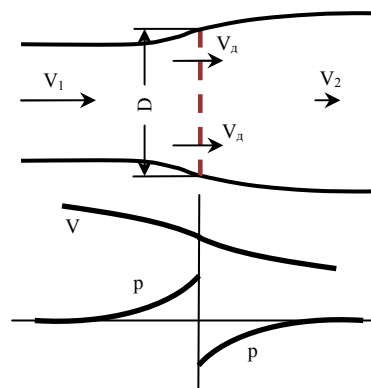


Рис. 2. Схематическое изображение работы кругообразного пропускающего воздух диска
Fig. 2. Schematic of the circular air-permeable disk operation

Это происходит таким образом, что перед ветроколесом воздух чуть задерживается (тормозится). Его скорость переходит при этом в давление примерно как



у тела, падающего на пружинящую подставку, где кинетическая энергия переходит в натяжение пружины. Вследствие этого воздух поступает на колесо уже со сниженной скоростью, но с повышенным давлением. Для получения большей энергии на ветроколесе нужно прежде всего уменьшить кинетическое давление за ветроколесом, повысив скорость.

Известно, что внутренняя часть ветроколеса всех традиционных крыльчатых ветроустановок остается неиспользованной в силу конструктивных соображений и низкого КПД (ветровой поток перед ветроколесом сминается, меняется угол атаки и, следовательно, КПД падает). Поэтому принимают, что 1/3 действительного радиуса ветроколеса не используется [6].

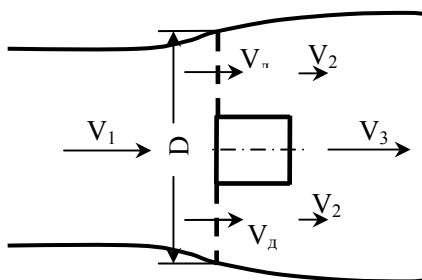


Рис. 3. Схематическое изображение работы диска с трубой
Fig. 3. The schematic of the operation of the disk with the pipe

Согласно формуле (1), для того чтобы увеличить скорость в плоскости ветроприемного устройства $V_{ВПУ}$, необходимо увеличить скорость ветра за диском V_2 . Для этого в центре диска устанавливаем трубу диаметром $d=D/3$ и обдуваем диск ветровым потоком той же скорости V_1 (рис. 3).

В этом случае труба не будет препятствовать свободному проходу ветрового потока, поэтому на выходе скорость потока V_3 будет лишь немного меньше V_1 . Таким образом, в воздушном потоке за диском будет наблюдаться градиент скорости, при этом благодаря вязкости (наличие сцепления частиц друг с другом) слои воздуха, движущиеся быстрее, увлекают за собой слои, движущиеся медленнее, происходит увеличение скорости ветра за диском V_2 и, соответственно, увеличивается скорость в плоскости $V_{ВПУ}$.

На рис. 4 представлен испытательный стенд для имитации работы ветроприемного устройства. Испытательный стенд представляет собой диск, пропускающий воздушный поток через специальные прорези с изменяющимися размерами. При увеличении или уменьшении размеров прорезей изменяется коэффициент торможения потока ветроприемного устройства.



Рис. 4. Испытательный стенд для имитации работы диска в режиме «без трубы» (а) и в режиме «с трубой» (б)
Fig. 4. The test bed to simulate the operation of the disk in the "no pipe" (a) and in the "pipe" (b)

Конструкция ВЭУ с ускорителем ветрового потока

Одной из задач нашего исследования является создание конструкции ветроприемного устройства с уско-

рителем ветрового потока [7, 8]. На рис. 5 (а, б) представлены компьютерная и физическая модели ветроприемного устройства (ВПУ).

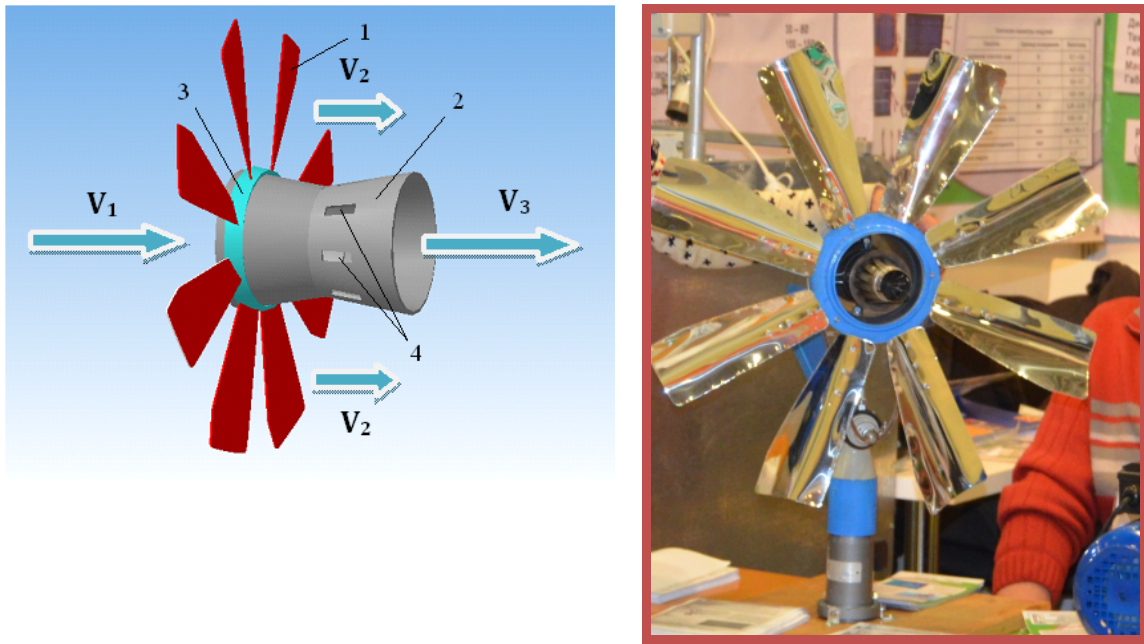


Рис. 5. Ветроприемное устройство с ускорителем ветрового потока: а) компьютерная модель; б) физическая модель
 Fig. 5. The wind installation with wind flow accelerator: (a) computer model; b) physical model

К примеру, лучшая ветроустановка мощностью 1 кВт при скорости ветра $V = 5$ м/с и при максимальном коэффициенте использования энергии ветра $\xi = 0,5$ вырабатывает ≈ 100 Вт.

В районах со среднегодовой скоростью ветра 4–7 м/с продолжительность ветров с такой скоростью составляет 3 500–5 200 часов/год, что характерно для большей части населенной территории России, а продолжительность ветров выше 8 м/с составляет всего 500–2 400 часов в год (таблица Поморцева) [9]. Разработанная ВЭУ с осевым ускорителем ветрового потока предназначена для эффективной работы в районах с низким ветровым потенциалом для выработки стабильной выходной установленной мощности при скоростях ветра 4–7 м/с за счет увеличения скорости воздушного потока, проходящего через ветроприемное устройство, которое создаёт разрежение за ветроприемным устройством, что обеспечивает дополнительную мощность на лопастях за счет тяги (разность давления перед и за ветроприемным устройством).

Ветроприемное устройство содержит ветроколесо и аэродинамический ускоритель потока, выполненный в виде трубки Вентури и расположенный в центре ВПУ. При этом ветроколесо свободно вращается на подшипнике, посаженном на трубку Вентури, которая является осью ветроколеса. Ветроприемное устройство дополнительно снабжено специальными отверстиями, через которые быстрый воздушный поток (эжектирующий поток), проходящий в трубке Вентури, увлекает за собой медленный наружный воздушный поток (эжектируемый поток), создавая за ветроколесом некоторое разрежение, что в свою оче-

редь создает разрежение за ветроколесом и способствует увеличению скорости воздушного потока, проходящего через ветроколесо.

Заключение

Основными конкурентными преимуществами ВЭУ с ускорителем ветрового потока являются: увеличение выработки электроэнергии в годовом режиме до 400 % в зависимости от среднегодовой скорости ветра; повышение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) до 55–62 %; минимальное сервисное обслуживание; – а использование композитных материалов не только удешевит и облегчит конструкцию, но и увеличит срок службы ВЭУ.

ВЭУ с ускорителями ветрового потока могут применяться для электроснабжения потребителей, рассредоточенных на территориях с малой удельной нагрузкой (сельскохозяйственные потребители, фермерские, рыболовные, охотничьи, индивидуальные хозяйства, социальные сферы и т.д.), а также для электрификации социальной инфраструктуры территорий (сотовая связь, информационное обеспечение, метеостанции, посты МЧС, видеонаблюдение, охранные функции, мониторинг и т.д.).

Серийное производство ВЭУ малой мощности позволит создать эффективные системы электроснабжения в децентрализованных регионах, а также будет способствовать популяризации идеи использования ветроэнергетики среди населения и руководства регионов России.



Список литературы

References

1. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П. Ветроэлектрические станции. М.: Государственное энергетическое издательство, 1960.
3. Альтернативная энергетика в мире сегодня и прогнозы на завтра. <http://vce-znau.ru/fizika/5840/index.html?page=2>
4. Концентраторы потоков. <http://wings777.ru/concentrators.htm>
5. Розин М.Н. Концентраторы, ускоряющие отходящий поток. <http://www.rosinmn.ru/>
6. Бетц А. Энергия ветра и ее использование посредством ветряных двигателей. Харьков: Государственное научно-техническое издательство Украины, 1933.
7. Патент 142342 РФ F03D1/04. Ветроустановка с активным ускорителем ветрового потока / Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Горинов К.А. // Изобретения. Полезные модели. 2014, № 18.
8. Патент 143120 РФ F03D1/04. Ветроустановка с пассивным ускорителем ветрового потока / Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Горинов К.А. // Изобретения. Полезные модели. 2014, № 20.
9. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П. Ветроэлектрические станции. М.: Государственное энергетическое изд-во, 1960.

1. Shefter Ya.I. Ispol'zovanie ènergii vetra. Moscow: Ènergoatomizdat Publ., 1983.
2. Andrianov V.N., Bystrickij D.N., Vashkevich K.P. Vetroèlektričeskie stancii. Moscow: Gosudarstvennoe ènergetičeskoe Publ., 1960.
3. Al'ternativnaâ ènergetika v mire segodnâ i prognozy na zavtra. Available at: <http://vce-znau.ru/fizika/5840/index.html?page=2>
4. Koncentratory potokov. Available at: <http://wings777.ru/concentrators.htm>
5. Rozin M.N. Koncentratory, uskorâùšie othodâšij potok. Available at: <http://www.rosinmn.ru/>
6. Betc A. Ènergiâ vetra i ee ispol'zovanie posredstvom vetrânyh dvigatelej. Har'kov: Gosudarstvennoe naučno-tehničeskoe izdatel'stvo Ukrainy (Publ.), 1933.
7. Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Gorinov K.A. Vetroustanovka s aktivnym uskoritelem vetrovogo potoka. Patent # 142342 RF. *Izobretenija. Poleznye modeli*, 2014, no. 18.
8. Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Gorinov K.A. Vetroustanovka s passivnym uskoritelem vetrovogo potoka. Patent #143120 RF. *Izobretenija. Poleznye modeli*, 2014, no. 20.
9. Andrianov V.N., Bystrickij D.N., Vashkevich K.P. Vetroèlektričeskie stancii. Moscow: Gosudarstvennoe ènergetičeskoe izd-vo (Publ.), 1960.

Транслитерация по ISO 9:1995



Opening Statement

The 14th International Conference on Wind Engineering will celebrate its first half century of existence at the forthcoming conference to be held in Porto Alegre, Brazil, June 21-26, 2015; fifty-two years after the initial event took place at Teddington (UK) in 1963. The Organizing Committee invites engineers, meteorologists, scientists and professionals of all related fields interested in this exciting branch of knowledge to have an active participation in the 2015 edition of the ICWE, hosted for the first time in South America.

Topics of Interest

The ICWE14 is a multi-disciplinary conference concerning multifold topics, among which (some of them):

- Turbulence theory
- Wind structure
- Numerical and physical modeling of atmospheric flow fields
- Vehicle aerodynamics
- Wind tunnels
- Wind tunnel tests
- Computational fluid dynamics
- Wind loads on buildings and structures
- Wind turbines
- Wind energy production
- Atmospheric dispersion of pollutants
- Forest fire propagation
- Wind erosion
- Urban planning
- Architectural aerodynamics
- Static and dynamic wind effects

www.icwe14.org

