

УСКОРИТЕЛЬ ПОТОКА БАШЕННОГО ТИПА ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье рассмотрены шестилопастные конструкции ускорителя воздушного потока упрощенного типа. Цель работы — исследование и выбор оптимальной конструкции ветроэнергетической установки башенного типа. С помощью программного и экспериментального исследования определена геометрия канала и выбрана конструкция с увеличением скорости проходящего потока в 2,75 раза, ускорения набегающего потока на 55 % и увеличением мощности, вырабатываемой ветроэнергетическими установками, в 3 раза. Данные результаты позволяют судить о целесообразности исследования, направленного на проблему увеличения скорости воздушного потока для увеличения вырабатываемой мощности установок.

Ключевые слова: ускоритель воздушного потока, ветроэнергетическая установка с ускорителем башенного типа, оптимизация конструкции концентратора.

В настоящее время развитие ветроэнергетики идет по пути усложнения конструкций ветроколес, систем управления и конструкции генераторов для повышения стабильности работы и увеличения КПД ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Для территорий с невысокими скоростями ветра выработка ветроустановкой заявленной мощности затруднительна. Это связано с тем, что большинство производителей ветроэнергетических установок рассчитывают получение номинальной мощности ветроустановки от скорости 10–14 м/с [1], соответственно, при скоростях менее 10 м/с использование ветроустановок большинства производителей нецелесообразно. Другими словами, лопастные ветроэнергетические установки, получившие свое развитие в далеком прошлом, с точки зрения теории эффективности, практически исчерпали пределы своего развития и дальнейшая их модернизация повлечет за собой лишь бесполезную трату материальных и финансовых ресурсов, то есть ветроэнергетика на основе лопастных ветротурбин перспективна только в ограниченных районах с большими среднегодовыми скоростями ветра [2]. Единственным выходом для использования ветроэнергетических установок на территориях с низкими среднегодовыми скоростями является применение дополнительных ускорителей воздуш-

ного потока (конфузоры, диффузоры и их производные) [3].

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.

Общей характерной особенностью этих установок является то, что для организованного подвода и отвода воздушного потока к рабочему колесу и от него используются различного типа потоконаправляющие 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 [4].

Несмотря на небольшой интерес к проблеме ускорения потока, за последние 100 лет было предложено большое количество ускорителей потока. Это конфузорно-диффузорные каналы башенного типа [5], ВЭУ с несколькими ветротурбинами, многоярусные многолопастные конструкции, установки с различными модификациями лопастей и конструкции с направляющими плоскостями. Также это комбинированные установки: гелиоветроустановки, гидроветроустановки и горизонтально-осевые ветроустановки с пневматическим способом передачи мощности потока [6–14]. Однако известно, что самой лучшей конструкцией является так называемый «идеальный концентратор». Он представляет собой сужающуюся трубу, закрученную в пространственную логарифмическую спираль со спиральными направляющими внутри [15].

Создание, эксплуатация и ремонт такой конструкции очень сложны, поэтому данное исследование направлено на поиск упрощенных конструкций, которые максимально бы повторяли эффект «идеального концентратора», но были бы проще в строительстве и эксплуатации.

Крайне перспективным в этом свете видится использование вихревых эффектов в конструкции ветряков, что позволит не только начинать вырабатывать энергию на ветрах со скоростью 3,0–4,0 м/с, но и даст возможность работы от восходящих тепловых потоков, а также избавит окружающую среду от низкочастотных шумовых составляющих, присущих любой лопастной ветроустановке [2].

Для разрабатываемого ускорителя потока были поставлены следующие условия:

- ускорение воздушного потока более чем на 50 %;
- исключение необходимости ориентации системы по ветру;
- организация дополнительной устойчивости и надежности ВЭУ;
- отсутствие негативного экологического влияния на человека, птиц (низкий уровень шума), за счет расположения рабочего ветроколеса в теле ускорителя потока воздуха;
- возможность эффективно работать в регионах со скоростью ветра 3–5 м/с;
- приемлемая стоимость, габариты и внешний вид.

Для теоретического исследования проводилось математическое моделирование на базе программного комплекса ANSYS CFX.

Экспериментальные исследования по оптимизации конструкции проводились на макетах ускорителей с различными конфигурациями. Измерения изменения скорости воздушного потока проводились в лабораторных условиях. В качестве источника воздушного потока выступала система нагнетания воздуха (вертикально осевые вентиляторы мощностью 1 кВт).

Для измерения скорости потока использовались четыре анемометра, которые устанавливались на входе и на выходе из ускорителя. Каждое измерение проводилось 120 секунд с записью показаний два раза в секунду. За конечное принималось среднее значение.

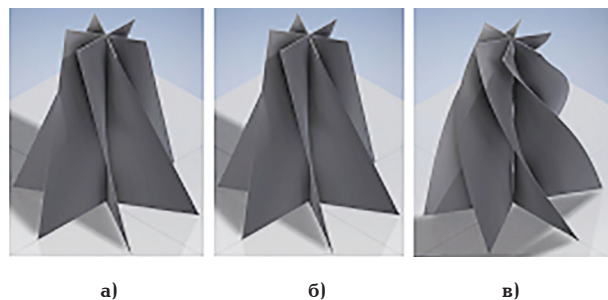


Рис. 1. Геометрия направляющих ускорителя:
а) направляющие конструкции в исходном положении;
б) направляющие конструкции в положении поворота верхней плоскости на 60° ; в) направляющие конструкции в положении поворота верхней плоскости на 120°

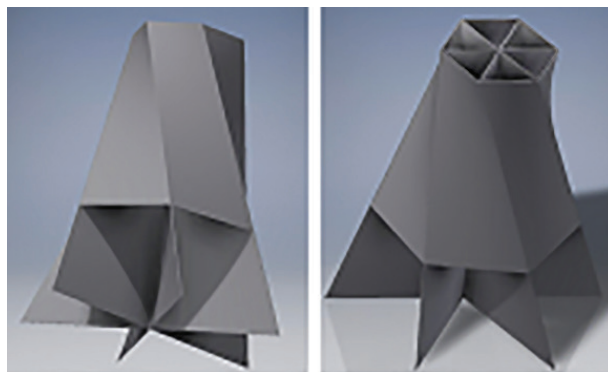


Рис. 2. Внешний вид модели конфузорной конструкции с углом поворота верхней плоскости на 60° относительно центральной оси

В ходе эксперимента изменялись следующие параметры конструкций:

- направление движения потока воздуха на входе конфузора;
- наклон вихревого (линейного) подъема потока в теле конфузорных каналов, путем добавления потокообразующих площадей (мосты различной формы).

Рассмотренные модели представляют собой шестиугольную усеченную пирамиду, вертикальные направляющие которой закручены на угол 60° , 120° , и 180° (рис. 1).

Для образования конфузорного канала были добавлены внешние плоскости. Вариант исполнения конфузорной конструкции с углом поворота 60° представлен на рис. 2.

Данные модели были проанализированы в программном комплексе ANSYS. В ходе численных экспериментов с определенным шагом изменялась площадь входа в канал путем уменьшения площади внешней поверхности. После анализа данных были созданы опытные образцы (рис. 3), на которых проводились экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Модели состоят из металлического каркаса, внешняя плоскость которых выполнена поликарбонатом толщиной 3,5 мм.

В ходе экспериментов проводились измерения потока при изменении площади входа S_2 . Это достигалось уменьшением внешней плоскости шагом 20 см от основания согласно рис. 4.

Площадь выхода S_1 постоянна и равна 290 см^2 . Результаты измерения сведены в табл. 1.



Рис. 3. Внешний вид опытных образцов конструкции ускорителя

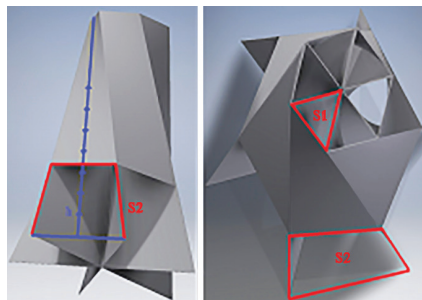


Рис. 4. Площади входа S2 и выхода S1 на конструкции

Таблица 1

Результаты измерений ускорения потока при средней скорости 2,51 м/с, с различной площадью входа S2

Угол поворота	alpha = 0		alpha = 60		alpha = 120	
	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход
При площади входа S2 = 1277 см ² (высота основания 20 см)						
Средняя скорость, м/с	1,934	0,54	1,364	2,663	0,656	0,416
Ускорение в ... раз	0,279		1,952		0,635	
При площади входа S2 = 2500 см ² (высота основания 40 см)						
Средняя скорость, м/с	0,79	0,5	1,195	2,92	0,599	0,386
Ускорение в ... раз	0,634		2,443		0,644	
При площади входа S2 = 3480 см ² (высота основания 60 см)						
Средняя скорость, м/с	0,672	0,51	1,247	2,976	0,667	0,57
Ускорение в ... раз	0,759		2,385		0,856	
При площади входа S2 = 4173 см ² (высота основания 80 см)						
Средняя скорость, м/с	0,821	0,488	1,41	3,448	0,76	0,402
Ускорение в ... раз	0,595		2,444		0,529	
При площади входа S2 = 5077 см ² (высота основания 100 см)						
Средняя скорость, м/с	0,743	0,489	1,249	3,439	0,837	0,805
Ускорение в ... раз	0,656		2,754		0,961	

На следующем этапе были проанализированы варианты использования дополнительных направляющих конструкций в теле конфузорного канала. Предложенные модификации так же были смоделированы и исследованы в программе ANSYS и экспериментально.

В ходе исследований изменялись параметры дополнительной плоскости S3 и определялась ее оптимальная форма. Также рассматривалась форма внешней грани конфузорного канала S4, изменялась ее высота и форма края (рис. 5).

В итоге было определено, что плавный вход потока достигается использованием именно спиралевидного канала. Было обосновано обязательное наличие дополнительной плоскости S3 в теле канала, для уменьшения смешивания и дополнительного

трения потока об острые углы ограждающих конструкций конфузорного канала. Выход потока из плоскости S1 под углом создает дополнительный положительный эффект при захвате потока ветроколесом и увеличивает скорость его вращения на 5–7 %.

Оптимальный угол поворота плоскостей основной конструкции (рис. 1) расположен в диапазоне 100–120°. Плоскость S3 имеет сложную форму, что повышает стоимость изготовления и эксплуатацию конструкции, но ее применение позволяет улучшить пропускную способность простого конфузорного канала (рис. 5) и повысить скорость потока на выходе из S1 на 15 %.

Итогами проведенных исследований стали следующие результаты:

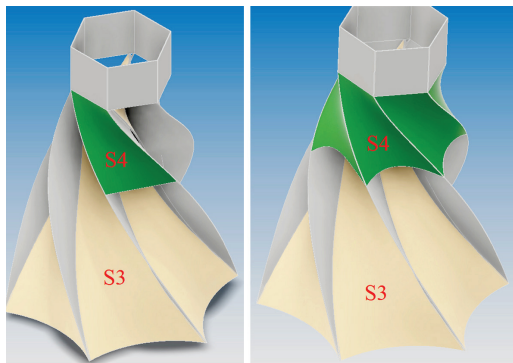


Рис. 5. Варианты исполнения плоскостей S3 и S4

1. Проведены анализ и исследование шестилопастных конструкций ускорителя потока.

2. Обоснована необходимость использования дополнительных плоскостей для подъема, стабилизации потока и увеличения ускорения.

3. Определена геометрия канала, позволяющая получить увеличение скорости на выходе в 2,75 раза.

4. Итоговое ускорение набегающего потока всех моделей составляет 30–52 %.

5. Наилучшей геометрией для применения ее в качестве ускорителя потока для ВЭУ с вертикальной осью вращения выявлена шестилопастная конструкция с поворотом верхней плоскости относительно центральной оси на угол 115°. Достигнутое увеличение скорости составляет 52 %, или увеличение мощности, вырабатываемой ВЭУ, в 3 раза.

Определено, что использование дополнительно ускорителя потока дополнительно к ВЭУ с вертикальной осью вращения позволяет эффективно использовать ВЭУ в регионах, где скорость ветра не превышает 5 м/с.

Библиографический список

1. Безруких П. П., Безруких П. П. Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. М.: Ин-т устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации, Центр экологической политики России. 2011. 74 с. ISBN 5-88305-060-3.

2. Серебряков Р. А., Доржиев С. С., Базарова Е. Г. Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 10 (1). С. 95–102.

3. Bubenchikov A. A., Bubenchikova T. V., Artamonova E. Yu., Shepelev A. O. Flow accelerator for wind power installations with the vertical rotation axis // Environment and electrical engineering and 2017 IEEE industrial and commercial power systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), June 6–9, 2017. Milan, 2017. P. 1–8. DOI: 10.1109/EEEIC.2017.7977402.

4. Доржиев С. С., Базарова Е. Г., Горинев К. А. ВЭУ с осевыми ускорителями ветрового потока // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3. С. 204–208.

5. Бубенчиков А. А., Бубенчикова Т. В., Еремин Е. Н., Харламов В. В. Исследование ускорителей воздушного потока башенного типа для ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 38–44. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-38-44.

6. Пат. 2387871 Российская Федерация, МПК F 03 D 1/04. Ветроэнергетическая установка / Занегин Л. А., Петров Ю. Л., Шухинкова Е. Г. № 2008144736/06; заявл. 12.11.08; опубл. 27.04.10, Бюл. № 12.

7. Пат. 2369772 Российская Федерация, МПК F 03 D 11/00, F 03 D 3/04. Выработка электроэнергии с размещением ветрогенератора в вертикальном вытяжном воздушном канале в конструкции жилого здания / Тебуев В. В. № 2007126567/06; заявл. 12.07.07; опубл. 10.10.09, Бюл. № 28.

8. Пат. 2432493 Российская Федерация, МПК F03D 3/04. Карусельная ветряная турбина / Головенкин Е. Н., Холодков И. Х., Задорин В. И., Кесельман Г. Д. № 2009103375/06; заявл. 02.02.2009; опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30.

9. Пат. 2422673 Российская Федерация, МПК F03D 3/06, F03D 3/04. Ветроэнергетики / Сигаев В. П. № 2010105075/06; заявл. 15.02.2010; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18.

10. Пат. 2403439 Российская Федерация, МПК F03D 9/00, F03D 3/04. Метод преобразования энергии ветра и устройства для ее реализации / Смолич Р., Буряк А., Буряк Д., Медведев Н. № 2008128194/06; заявл. 10.07.2008; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31.

11. Пат. 2399789 Российская Федерация, МПК F03D 3/04. Ветряная турбина / Ярыгин Л. А., Ермаков И. Г. № 2009117210/06; заявл. 05.05.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.

12. Пат. 2390654 Российская Федерация, МПК F03D 3/04. Ветроэлектростанция / Сигаев В. П. № 2009115533/06; заявл. 24.04.2009; опубл. 27.05.2010, Бюл. № 15.

13. Пат. 2386853 Российская Федерация, МПК F03D 3/04. Вихревая ветряная турбина / Коломацкий С. И., Коломацкий Д. С., Коломак Е. С., Лебедев И. Г. № 2009104009/06; заявл. 09.02.2009; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11.

14. Пат. 2383775 Российская Федерация, МПК F03D 3/04. Ветрогенераторный ротор / Эршов М. В., Стребков Д. С., Таныгин В. В. № 2008125261/06; заявл. 24.06.2008; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7.

15. Тахо-Годи А. З. Концентратор воздушного потока для ветроэлектрической станции, управляемый следящей системой с контуром оптимального регулирования угла радиальности // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (14). С. 3056–3058.

БУБЕНЧИКОВ Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 4357-5273

AuthorID (РИНЦ): 512777

ORCID: 0000-0002-2923-1123

AuthorID (SCOPUS): 57188871772

ResearcherID: D-7850-2014

Адрес для переписки: privetomsk@mail.ru

БУБЕНЧИКОВА Татьяна Валерьевна, аспирантка кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

AuthorID (SCOPUS): 57190581588

Адрес для переписки: antech-energo@mail.ru

КРОПОТИН Олег Витальевич, доктор технических наук, доцент (Россия), декан факультета довузовской подготовки, помощник проректора по учебной работе по профориентации.

SPIN-код: 4218-4900

AuthorID (РИНЦ): 118225

ORCID: 0000-0002-6620-9945

AuthorID (SCOPUS): 6505835545

ResearcherID: H-4616-2013

СМОРОДИН Георгий Сергеевич, ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 7481-6122

AuthorID (РИНЦ): 872737

ORCID: 0000-0002-9020-0027

Адрес для переписки: gosha_eto_ya@mail.ru

ШЕПЕЛЕВА Елена Юрьевна, ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 2198-3042

AuthorID (РИНЦ): 821672

ORCID: 0000-0003-4908-560X

Адрес для переписки: elena.arta2013@yandex.ru

МАНАКОВА Елена Алексеевна, студентка группы Э-151 энергетического института.

ЗАХАРОВ Андрей Андреевич, студент группы ЭТМ-151 факультета транспорта нефти и газа.

Для цитирования

Бубенчиков А. А., Бубенчикова Т. В., Кропотин О. В., Смородин Г. С., Шепелева Е. Ю., Манакова Е. А., Захаров А. А. Ускоритель потока башенного типа для ветроэнергетической установки // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 55–59. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-55-59.

Статья поступила в редакцию 02.04.2018 г.

© А. А. Бубенчиков, Т. В. Бубенчикова, О. В. Кропотин,

Г. С. Смородин, Е. Ю. Шепелева, Е. А. Манакова,

А. А. Захаров

УДК 621.548

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-59-67

**А. А. БУБЕНЧИКОВ
Т. В. БУБЕНЧИКОВА
К. В. ХАЦЕВСКИЙ
Г. С. СМОРОДИН
Е. А. МАНАКОВА
А. А. ПОГОРЕЛОВ
И. А. ГАИБОВ**

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

ИССЛЕДОВАНИЕ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ПОТОКА ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье проведен анализ применения простейших конструкций ускорителей воздушного потока для выявления наиболее перспективной геометрии для исследования. Определена наилучшая геометрия многолопастной конструкции для применения ее в качестве ускорителя потока для ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения. Определено максимальное ускорение потока и возможное увеличение мощности, вырабатываемой ветроэнергетической установкой. Достигнутое увеличение скорости составляет 52 %. Так как мощность зависит от скорости ветра в кубе, то такая конструкция позволит увеличить мощность, вырабатываемую ВЭУ, в три раза.

Ключевые слова: ускорители потока для ветроэнергетических установок, спиралеобразные ускорители потока, концентрация энергии ветра.

Среди возобновляемых источников энергии одним из самых распространенных является ветроэнергетика. Рост ветроэнергетики в развитых странах, особенно в Европе, длительное время был обусловлен проблемой глобального изменения климата [1–3].

Ветровая энергетика является наиболее привлекательным решением мировых энергетических проблем. Она не загрязняет окружающую среду

и не зависит от топлива. Более того, ветровые ресурсы присутствуют в любой части мира и их достаточно, чтобы обеспечить растущий спрос на электроэнергию [4].

Однако для реализации выработки электроэнергии за счет энергии ветра в регионах с низкими скоростями ветрового потока применение классических ветроустановок не дает ожидаемых результатов [5], в связи с чем встает вопрос о про-