

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОКОЛЕС БЕЗ НАГРУЗКИ В ТЕЛЕ УСКОРИТЕЛЯ ПОТОКА ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

В статье представлены исследования, направленные на определение конструкции концентратора, при которой происходит максимальное ускорение воздушного потока. В ходе работы были исследованы установки башенного типа со свободными лопастями в теле концентратора для определения полезного эффекта их использования. Проведены аналитические и экспериментальные исследования предложенных конструкций и вариант их многоярусного исполнения. Даны рекомендации по применению предложенных разработок.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения, ускоритель воздушного потока, многоярусные ветроэнергетические установки, конфузур.

В настоящее время все больше внимания уделяется вопросу энергосбережения, системам «умный дом» и источникам альтернативной энергии. Основным направлением является поиск вариантов уменьшения потребления, автоматизации процессов и возможности ухода от центрального снабжения тепла и электроэнергии.

Применение альтернативных источников в России должно быть подкреплено технико-экономическим обоснованием, потому что условия большинства территорий не подходят для использования существующих на рынке ветроэнергетических установок (ВЭУ) и преобразователей энергии солнца. Так, скорость ветра практически всей центральной России не превышает 5 м/с и большинство ВЭУ не смогут вырабатывать заявленную производителем мощность (скорость работы в номинальном режиме — от 10 м/с). Согласно [1], вырабатываемая мощность ВЭУ пропорциональна скорости в третьей степени, поэтому ускорение воздушного потока является основным направлением развития для повышения эффективности их работы.

Одним из решений проблемы повышения скорости воздушного потока является применение ускорителей воздушного потока. Они представляют собой диффузорные либо конфузурные устройства, устанавливаемые вблизи от рабочего ветроколеса ВЭУ.

Принцип действия всех концентраторов ветровой энергии основан на эффекте Вентури, вследствие действия закона Бернулли. Он заключается в падении давления и увеличении скорости при прохождении потока газа через суженную часть трубы [2].

Этот закон позволяет объяснить эффект Вентури: в узкой части трубы скорость течения газа

выше, а давление меньше, чем на участке трубы большего диаметра, в итоге чего имеется разница давлений.

Несмотря на то, что различные конструкции для захвата энергии воздушного потока были созданы очень давно [3–4], наибольшее распространение именно ВЭУ получили в 70-х годах прошлого века и являлись в основном установками с горизонтальной осью вращения, установленными на мачтах. Для повышения их эффективности разрабатывались различные ускорители, которые получались достаточно громоздкими и требующими дополнительной стабилизации. Не менее масштабными получились установки башенного типа, ВЭУ с применением нескольких ветротурбин в одной конструкции, а также многоярусные многолопастные конструкции. Такие установки не нашли повсеместного применения, и большинство из них так и осталось на уровне разработок. Интерес разработчиков также был отмечен на комбинированных установках, гелиоветроустановках, гидроветроустановках и горизонтально-осевых ветроустановках с пневматическим способом передачи ветровой мощности.

Несмотря на большое разнообразие разработок установок с горизонтальной осью вращения, применение нашли лишь «классические» установки данного типа без каких-либо модификаций.

Вертикально-осевые ветроэнергетические установки стали интенсивно осваивать с начала 80-х годов [5], причем диапазон их мощностей непрерывно расширялся.

В отличие от горизонтально-осевых установок, данные конструкции не нуждаются в ориентации по ветру и могут запускаться при более низких скоростях ветрового потока, что является важным

для применения ВЭУ в регионах с низкой скоростью воздушного потока.

Для вертикально-осевых установок также велись разработки различных способов ускорения воздушного потока. Они были представлены концентраторами ветровой энергии, конструкциями с направляющими плоскостями, установками с различными модификациями лопастей. Также получили распространение разработки модульных конструкций и конструкций башенного типа. Комбинированные установки в вертикально-осевых установках получили немного меньший интерес, чем в установках с горизонтальной осью вращения, но им на смену пришли разработки конструкций, устанавливаемых на крышах зданий.

Тем не менее большая часть разработок, перечисленных выше, не получила широкого распространения. Вероятными причинами могут выступать большие габариты, а значит, и большая стоимость материалов, вибрация и шум, недопустимые для людей и животных, несоответствие реальной конструкции заявленным характеристикам, или же конструкции по каким-либо причинам остались на стадии разработок.

В настоящее время ниша ВЭУ с вертикальной осью вращения, способных работать при низких скоростях ветрового потока, остаётся слабо развитой, и новые технические решения, не требующие создания сложных устройств, но позволяющих при этом существенно улучшать энергетические параметры и характеристики установок, представляют большой практически интерес.

В результате анализа для разрабатываемой ВЭУ с ускорителем потока были поставлены следующие условия:

- ускорение воздушного потока в 2–2,5 раза вместо 20–40 % у аналогов;
- увеличение надежности;
- не нуждается в ориентации по ветру и организации дополнительной устойчивости (в отличие от мачтовых ВЭУ);
- сниженный уровень шума (для чего все вращающиеся части должны быть расположены в теле концентратора);
- отсутствие негативного влияния на птиц (ветроколесо также внутри концентратора);

— возможность эффективно работать в регионах с малой ветровой нагрузкой (до 3 м/с);

— приемлемая стоимость, габариты и внешний вид.

Некоторые условия в совокупности осуществить очень сложно, потому что некоторые вихревые установки имеют очень сложную форму конфузных каналов и саму конструкцию в целом. Это не только увеличит стоимость установки, но и усложнит ее эксплуатацию.

В качестве идеального концентратора лучше всего подойдет сужающаяся труба, причём закрученная в пространственную логарифмическую спираль. Поток внутри трубы должен также закручиваться при движении вдоль трубы, вокруг её оси. Для этого внутренняя поверхность трубы должна иметь спиральные направляющие, либо сама труба должна иметь сложное сечение и сама должна быть закручена в спираль. Иными словами, это модернизированная труба Шауберга [6] (двойная спираль), сделать которую технологически сложно и, опять же, дорого.

Поэтому имеет смысл исследовать установки от простейших до сложных конструкций для конечного анализа эффективности усложнения и модернизации отдельных частей ускорителя для получения какого-то среднего варианта в той или меньшей степени удовлетворяющего приведенные выше условия.

За основу простейших конструкций были взяты разработки [7–10], представляющие собой башенные установки с конфузным каналом, направленным вверх. В тело концентратора были добавлены свободные лопасти. Далее было произведено моделирование нескольких установок, некоторые из которых представлены на рис. 1. Был проведен их конечно-элементный анализ в программе ANSYS и созданы опытные образцы с геометрическими параметрами, при которых соотношение скоростей потока на входе и на выходе из концентратора получалось максимальным. Очень важно учесть тот факт, что моделирование в ANSYS не дает полной оценки работоспособности установки в реальных условиях, так как некорректно учитывает такие процессы, как срыв или запыление потока и достоверный анализ, который можно получить

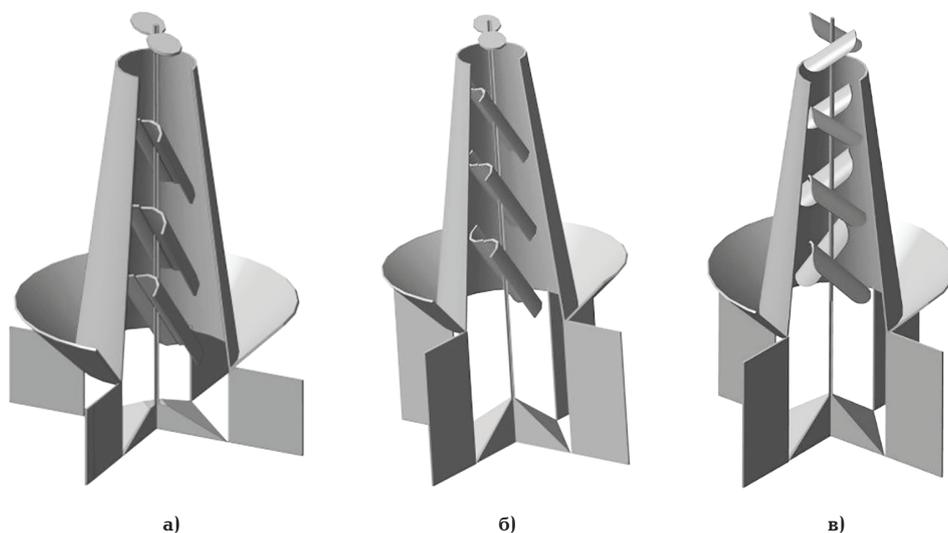


Рис. 1. Варианты прототипов концентраторных ВЭУ



Рис. 2. Прототип концентраторной ВЭУ со свободными лопастями



Рис. 3. Усредненные значения скорости воздушного потока на входе и на выходе из концентраторной установки



Рис. 4. Натурные испытания прототипа концентраторной ВЭУ со свободными лопастями в теле концентратора

только, исследуя опытный образец в реальных условиях.

Было предложено следующее решение (рис. 2). Концентраторная ВЭУ представляет собой конус, установленный на три вертикальных ребра (направляющие потока), расположенных звездой, сдвинутых друг относительно друга на угол 120 градусов. Внутри конуса установлены свободно вращающиеся лопасти особой формы, которые приводятся в движение воздушным потоком, подходящим снизу. В основании конструкции установлена пирамида, содержащая электронный блок с редуктором и генератором. Воздушный поток, проходя между направляющими, встречает преграду в виде пирамиды и поднимается вверх. На входе в концентратор он приводит в движение свободно вращающиеся лопасти, которые используют энергию ветра, чтобы раскрутиться. При снижении скорости потока они по инерции вращаются и засасывают воздух в концентратор. Далее воздух направляется вверх и при сужении трубы ускоряется. Затем воздушный поток попадает на верхнее ветроколесо, которое валом соединено с генератором в основании конструкции.

Для эксперимента были построены несколько опытных образцов концентраторной установки. После проведения ряда экспериментов была выбрана конструкция, соответствующая (рис. 1в), которая обладает не лучшими аэродинамическими характеристиками, но проста в монтаже и достаточна для анализа исследуемого эффекта. Была измене-

на форма концентратора на простой конус высотой 1,2 м с радиусом входного отверстия 0,6 м и радиусом выходного отверстия 0,35 м. Также был добавлен фартук для направления потока в концентратор. Высота тетраэдра основания изменялась от 10 до 70 см. Задаваемый воздушный поток на входе в концентратор был равен 7,2 м/с.

Сначала была определена скорость воздушного потока на выходе без наличия свободных лопастей в концентраторе. В зависимости от высоты тетраэдра основания она менялась и максимально достигала 35 %. После добавления в тело концентратора свободных лопастей при стационарном потоке наблюдалось снижение ускорения на 2–3 %.

Основной задачей было определение характера изменения потока на выходе при нестационарном потоке на входе. Для этого был задан режим, при котором скорость потока на входе каждые 10 секунд снижается до 1,5 м/с и нагнеталась до 7,5 м/с. В результате эксперимента была получена усредненная картина изменения скорости воздушного потока на выходе из концентратора (рис. 3).

Для подтверждения результатов лабораторных исследований был проведен анализ работы установки на открытом воздухе (рис. 4). Результирующие значения ускорения изменялись в среднем на 3 %.

Анализ работы существующих ускорителей показал, что использование концентраторов может повысить скорость воздушного потока на 30–40 %, однако при сильной нестационарности воздушного

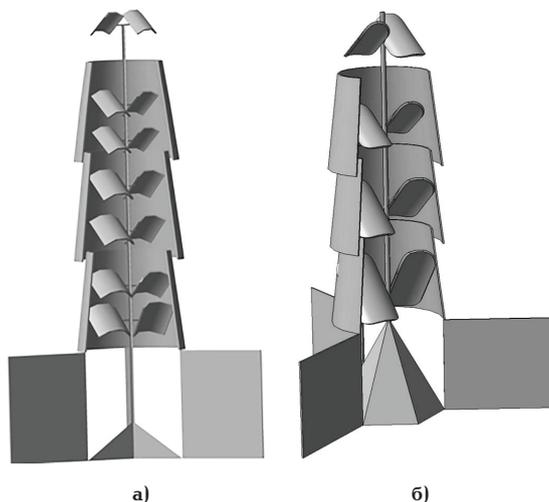


Рис. 5. Примеры многоярусной концентраторной установки

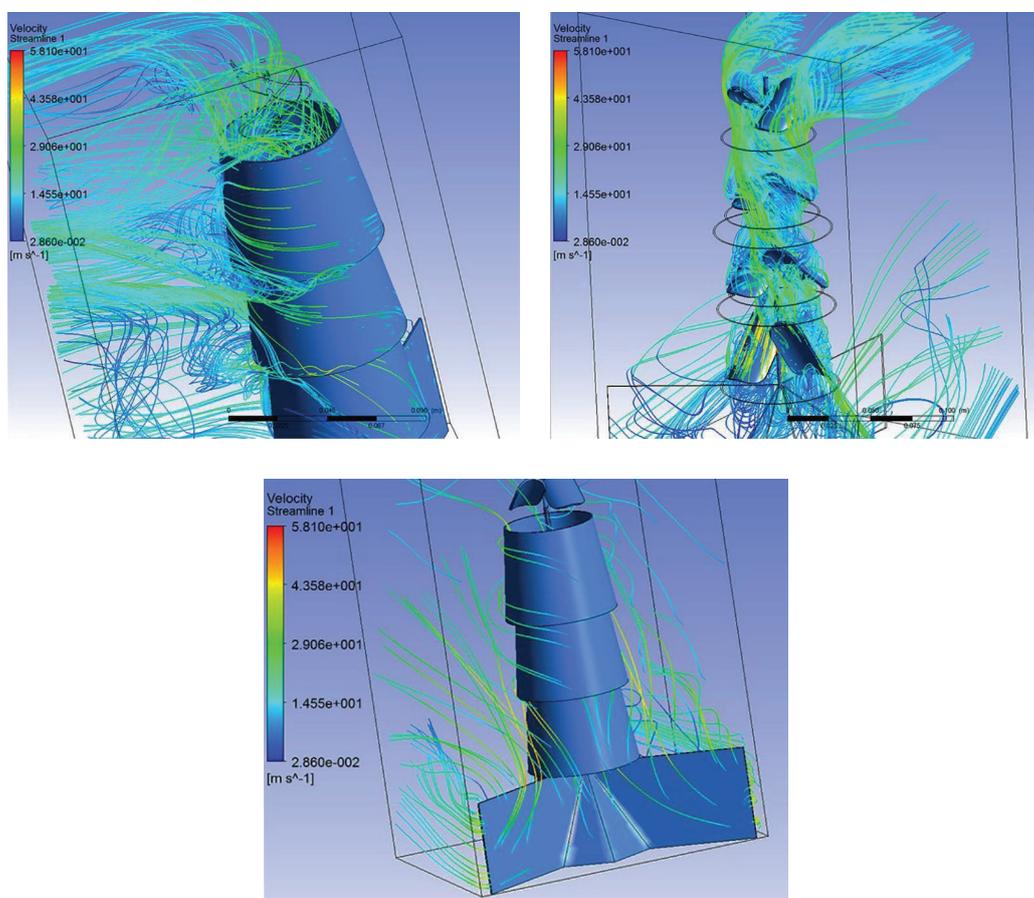


Рис. 6. Пример анализа воздушного потока в программном комплексе ANSYS

потока и малой скорости ветра большое количество полученной энергии расходуется на разгон лопастей ветрогенератора, за счет чего генератор не успевает раскрутиться до необходимой для оптимального КПД скорости вращения ротора. Для уменьшения негативного влияния таких процессов и целесообразно использовать установки предложенного типа.

Полученная конструкция ускоряет поток хуже, чем простой конус, но способствует поддержа-

нию определённого уровня воздушного потока на главное ветроколесо необходимого для работы генератора в режиме непрерывной выработки электрической энергии. Также она позволяет закручивать воздушный поток вдоль оси своего движения, что является полезным свойством при движении и ускорении потока. Такие системы с применением эффекта Бернулли могут иметь несколько ярусов для повышения эффективности работы (рис. 5, 6) и так же могут найти свое применение. Также такая

конструкция имеет положительный эффект уменьшения шума и вибрации, исходящих от ВЭУ. Это связано с тем, что все основные движущие части расположены в теле концентраторной установки. Применение таких конструкций может найти применение в системах вентиляции.

Библиографический список

1. Bubenchikov A. A., Bubenchikova T. V., Artamonova E. Y., Shepelev A. O. Flow accelerator for wind power installations with the vertical rotation axis // 2017 IEEE International conference on 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.
2. Филиппов В. Е., Гаврильев Д. М. Исследование погружения плоской частицы в стоячей воде // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журн.). 2011. № 11. С. 198–199.
3. Chiras D. Wind Power Basics. CAN.: New Society Publishers, 2010. 192 p. ISBN 9780865716179.
4. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. Wind energy. Handbook. England, 2001, 643 p. ISBN 0-471-48997-2.
5. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.
6. Шаубергер В. Энергия воды: пер. с англ. М. Новиковой. М.: Эксмо, 2007. 317 с. ISBN 978-5-699-20607-0.
7. 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.
8. Пат. 2369772 Российская Федерация, МПК F 03 D 11/00, F 03 D 3/04. Выработка электроэнергии с размещением ве-

трогенератора в вертикальном вытяжном воздушном канале в конструкции жилого здания / Тебуев В. В. № 2007126567/06; заявл. 12.07.07; опубл. 10.10.09, Бюл. № 28.

9. McDavid Jr. William K. Fluid-powered energy conversion device. US patent 6518680; filed May 31st, 2001; published February 11th, 2003.

10. Пат. 2432493 Российская Федерация, МПК F 03 D3/04. Ветрогенератор карусельного типа / Головёнкин Е. Н., Холодков И. В., Халиманович В. И., Кесельман Г. Д. № 2009103375/06; заявл. 02.02.09; опубл. 27.10.11, Бюл. № 30.

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

SPIN-код: 4357-5273

AuthorID (РИНЦ): 512777

Адрес для переписки: privetomsk@mail.ru

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

Адрес для переписки: antech-energo@mail.ru

Для цитирования

Бубенчиков А. А., Бубенчикова Т. В. Оценка применения ветроколес без нагрузки в теле ускорителя потока для ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 33–37. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-33-37.

Статья поступила в редакцию 05.02.2018 г.

© А. А. Бубенчиков, Т. В. Бубенчикова