

ОТЗЫВ

научного консультанта д.ф.-м.н., профессора Минькова Леонида Леонидовича на диссертационную работу докторанта PhD Тлеубергеновой Акмарал Жарылхасынкызы на тему «Исследование влияния теплофизических параметров воздушного потока на аэродинамику комбинированных лопастей ветроэнергетической установки», представленную на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05303 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Актуальность диссертационного исследования на тему «Исследование влияния теплофизических параметров воздушного потока на аэродинамику комбинированных лопастей ветроэнергетической установки» докторанта PhD Тлеубергеновой Акмарал Жарылхасынкызы определяется необходимостью создания ветроэнергетических установок, способных стабильно и эффективно работать при низких скоростях ветра.

Для территориальных условий Казахстана, где среднегодовые скорости нередко ниже 6 м/с, требуется поиск инженерных решений, обеспечивающих энергоэффективность установок в ситуации частых колебаний скорости и направления воздушного потока, при одновременном соблюдении требований к низкой стоимости и малым массогабаритным параметрам.

Ветроэнергетика остаётся одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой энергетики, однако дальнейшее расширение её потенциала связано с преодолением ряда технических и социально-экономических ограничений, необходимых для перехода к декарбонизированной электроэнергетике. В этой связи разработка ветроустановок с комбинированными лопастями и исследование их аэродинамических характеристик представляются задачей высокой актуальности.

Исходя из вышеизложенного, в диссертационной работе предлагается разработка и исследование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки с комбинированными лопастями, ориентированной на эффективную работу при малых скоростях ветра. Ключевой конструктивной особенностью является введение неподвижной лопасти в зоне цилиндрического элемента комбинированной лопасти. Указанный элемент организует входной поток и подавляет нестационарное вихреобразование за цилиндром, смещает точку отрыва и способствует восстановлению присоединённого течения. В результате формируется более устойчивая

циркуляция вокруг рабочей поверхности, возрастает крутящий момент на валу и снижаются аэродинамические нагрузки.

Принцип комбинированной лопасти позволяет уменьшить инерционные и конструкционные нагрузки, сократить сопротивление несущих и обтекаемых элементов, что в итоге способствует росту энергетической эффективности установки

В основе работы установки лежит образование аэродинамической подъёмной силы вследствие асимметрии распределения давления на рабочих поверхностях. При поперечном обтекании вращающегося цилиндра (лопасти цилиндрического типа) суперпозиция поступательного потока и вращательного движения формирует циркуляцию, смещает стагнационные точки и вызывает понижение давления на одной стороне и повышение на противоположной. В соответствии с эффектом Магнуса это приводит к возникновению подъёмной силы, направленной перпендикулярно набегающему потоку.

Докторант Глеубергенова А. Ж. выполнила весь комплекс задач, необходимых для достижения целей диссертационного исследования.

Для количественной оценки влияния угла установки неподвижной лопасти на аэродинамические характеристики ветроэнергетической установки разработан комплекс вычислительных моделей с углами 0° , 15° , 30° , 45° и 60° . Параметрическое численное моделирование выполнено в среде Ansys Fluent в период научной стажировки в Национальном исследовательском Томском государственном университете (ТГУ) под моим научным руководством. Проведены расчёты обтекания вращающихся цилиндров комбинированной горизонтально-осевой ВЭУ, получены поля течения, картины обтекания и распределения статического давления для различных режимов. Результаты использованы для сравнительного анализа интегральных аэродинамических характеристик.

В соответствии с планом работ проведены экспериментальные исследования аэродинамических характеристик лабораторного макета ветроэнергетической установки с комбинированными лопастями в различных режимах обтекания, эксперименты выполнены в аэродинамической трубе Т-1-М.

По результатам комплекса исследований выполнен сопоставительный анализ аэродинамических характеристик для одиночной лопасти, а также двух- и трёхлопастных конфигураций ветроэнергетической установки на основе согласования численных (CFD) и экспериментальных данных. Расчётные данные находятся в хорошем согласии с экспериментальными, подтверждая адекватность математической модели.

Разработан и изготовлен опытный образец комбинированной ветроэнергетической установки для полевых испытаний, включающий проектирование и технологию изготовления лопастей, а также сборку и пуско-наладку агрегата. Проведён комплекс опытных исследований,

охватывающий климатические испытания в реальных метеоусловиях и оценку электрофизических параметров в функции скорости набегающего потока. Дополнительно выполнено измерение силы тяги с учётом температурной вариации теплофизических свойств воздуха, что позволило установить закономерности изменения тяги и энергетических показателей установки при переменных условиях обтекания и подтвердить её работоспособность в полевых режимах.

Диссертационная работа направлена на получение универсальных (обобщённых) зависимостей коэффициентов подъёмной силы и лобового сопротивления для элементов комбинированных ветроэнергетических установок на основе совмещённых численных и экспериментальных исследований, полученные корреляции предназначены для использования при проектировании и оптимизации ветроэнергетических машин и агрегатов.

Полученные результаты, могут быть использованы при проектировании и создании многолопастных ВЭУ для энергоснабжения потребителей, в том числе в распределённых сетях и автономных объектах.

Результаты исследований докторанта Тлеубергеновой А. Ж. обсуждены на международных и республиканских научных форумах и представлены в публикациях рецензируемых изданий из перечня, утверждённого Комитетом по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, а также в журнале с ненулевым импакт-фактором, индексируемом в Scopus и Web of Science. Получен патент на полезную модель «Горизонтально-осевая ветроэнергетическая установка с комбинированными лопастями» № 9072 от 14.02.2024.

Диссертационная работа Тлеубергеновой А.Ж. является завершённым научным исследованием и отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям PhD, а ее автор заслуживает присуждения ей искомой степени доктора философии PhD по образовательной программе 8D05303 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Научный консультант,
доктор физико-математических наук,
профессор Национального исследовательского Томского государственного университета

Л.Л. Миньков

Подпись Л.Л. Минькова удостоверяю.



Подпись удостоверяю
Ведущий документовед
Андреев И.В. 3