АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D072300 – Техническая физика»

СЕЙДУЛЛА ЖӘНІБЕК ҚАНАТБЕКҰЛЫ

Технико – технологическое решение проблемы страгивания ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена экспериментальному и численному исследованию аэродинамических характеристик ротора Дарье с лопастями несимметричной формы, направленому на повышение эффективности ветроэнергетических установок (ВЭУ) при низких скоростях ветра.

Актуальность темы исследования.

Современное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) обусловлено необходимостью повышения энергетической независимости, устойчивого развития и минимизации воздействия на окружающую среду. В этом контексте ветроэнергетика является одним из ключевых направлений, особенно в условиях ограниченного и переменного ветрового потенциала, характерного для многих регионов. Особую значимость приобретают маломасштабные ВЭУ, предназначенные для автономного энергоснабжения в удалённых и сельских районах. Среди них особенно перспективными считаются ветротурбины вертикального типа, обладающие такими преимуществами, как независимость от направления ветра, простота конструкции, низкий уровень шума и способность эффективно функционировать при слабом ветре. Это определяет актуальность разработки и совершенствования роторных конструкций с улучшенными аэродинамическими характеристиками, включая роторы типа Дарье с несимметричными лопастями.

Казахстан активно развивает сектор ВИЭ в рамках государственной стратегии по достижению углеродной нейтральности к 2060 году. На 2025 год в республике уже функционирует более 25 промышленных ветроэнергетических установок общей мощностью свыше 800 МВт, что более чем вдвое превышает показатели 2020 года. Согласно национальным целям, к 2030 году доля ВИЭ в энергобалансе страны должна достичь 15%, а к 2050 – 50%. Благоприятные природно-климатические условия, особенно в южных и западных регионах с ветровыми скоростями 5 – 7 м/с и выше, создают предпосылки для дальнейшего развития ветроэнергетики.

Таким образом, в 2025 году Казахстан входит в фазу активного внедрения новых решений в области ветроэнергетики, где научные разработки, направленные на повышение эффективности ВЭУ при низких скоростях ветра, являются востребованными и стратегически значимыми.

Потенциал возобновляемых энергетических ресурсов (гидроэнергия, ветровая и солнечная энергия) в Казахстане весьма значителен. Особое место среди них занимает энергия ветра, которая способна обеспечивать экологически чистую, возобновляемую и доступную энергию, особенно в локальных и удалённых регионах Казахстана. Энергия ветра не загрязняет окружающую среду и может стать устойчивой основой для энергетической независимости страны.

На большей части территории Казахстана преобладают зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра (менее 5 м/с), что значительно снижает эффективность большинства существующих конструкций ветротурбины. Особенно остро стоит проблема страгивания – момента запуска ротора из состояния покоя. Многие существующие конструкции ротора Дарье при малых скоростях ветра не обеспечивают достаточного крутящего момента для самозапуска, что требует применения вспомогательных пусковых механизмов или конструктивных доработок.

Вертикально-осевые ветряные установки в последнее время вызывают всё больший интерес благодаря своей простой конструкции, компактности и независимости от направления ветра. Среди них особенно выделяется ротор Дарье с аэродинамическим приводом, обладающий более высоким коэффициентом полезного действия (КПД) по сравнению с традиционными роторами (тип Савониуса). Однако ключевой проблемой остаётся именно момент страгивания, что сдерживает их широкое применение в условиях низкого ветрового потенциала.

В этой связи создание и оптимизация вертикально-осевых ветротурбин с несимметричной формой лопастей, эффективно работающих при низких среднегодовых скоростях ветра, представляет собой важную научно-техническую задачу. Решение проблемы страгивания таких установок напрямую влияет на их энергетическую эффективность, надёжность и расширение сфер практического применения. Исследование в данной области полностью соответствует приоритетным направлениям развития науки и энергетики в Республике Казахстан.

Целью диссертационной работы является исследование аэродинамических характеристик ротора Дарье с лопастями несимметричной формы, направленное на повышение эффективности ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование аэродинамических характеристик лопасти несимметричной формы, применяемой в качестве рабочих лопастей вертикально-осевой ветротурбины;

2. Изучить распределение полей давления и векторов скорости вокруг одиночной лопасти и всего ротора при различных углах атаки и скоростях набегающего потока; выявить зоны отрыва течения и определить области максимального аэродинамического воздействия.

3. Анализ и обобщение результатов экспериментального исследования аэродинамических характеристик ротора Дарье с различными конструктивными элементами.

Объектами исследования являются Ротор Дарье с несимметричными лопастями, разработанными для увеличения подъемной силы и улучшения пусковых характеристик, в конструкциях с горизонтальными направляющими пластинами и без них, исследуемый как численно, так и экспериментально.

Предметом исследований – является определение аэродинамических характеристик несимметричной крыловой лопасти при взаимодействии с ветровым потоком.

Методы исследований. Экспериментальные исследования проводился в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М с использованием аэродинамических весов, позволяющих исследовать аэродинамические харакетристики модели турбин.

Дополнительно применялись численные методы (CFD – computational fluid dynamics) в среде ANSYS Fluent, что позволило провести анализ нестационарного обтекания и оценить аэродинамические характеристики ротора Дарье с несимметричными лопастями.

Связь темы с планами научно-исследовательских программ

Данная работа была выполнена в рамках конкурса на грантовое финансирование исследований молодых ученых по проекту «Жас Ғалым» на 2024-2026 годы, проводимый Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан за, что автор выражают благодарность. ИРН проекта AP22685893 «Исследование аэродинамических характеристик лопастей несимметричной формы, применяемые в ветроэнергетической установке для повышения эффективности турбины».

Научная новизна работы

1. Впервые предложена и реализована новая геометрия несимметричной крыловой лопасти для ротора Дарье, ранее не использовавшаяся в известных конструкциях ВЭУ, с целью решения проблемы страгивания при низких скоростях ветра.

2. Вперые установлено влияние конструктивных элементов (горизонтальных пластин) на параметры самозапуска, крутящий момент и коэффициент мощности ВЭУ, что позволило выявить условия повышения эффективности работы ротора в слабых и переменных ветровых потоках.

3. Впервые проведено исследование распределения давления и векторов скорости в зоне обтекания несимметричных лопастей на основе результатов CFD-моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Оригинальная геометрия (форма) несимметричной лопасти способствует увеличению подъемной силы и снижению момента страгивания, обеспечивая возможность самозапуска ротора при ветровых скоростях от 3 м/с.

2. Наличие горизонтальных направляющих пластин в конструкции ротора способствует улучшению его пусковых и энергетических характеристик. При

скорости ветра 3 м/с число оборотов увеличивается с 25 об/мин (без пластин) до 40 об/мин (с пластинами), а при 12 м/с – с 158 до 200 об/мин соответственно. Кроме того, конструкция с пластинами обеспечивает более высокий коэффициент мощности: при скорости 9 м/с значение Ср достигает 0,34 что на 23% превышает показатель ротора без пластин (0,276).

3. Предложенная несимметричная форма лопасти ротора вертикально-осевой ветротурбины обеспечивает улучшенные пусковые характеристики в критических азимутальных зонах (0 – 120° и 300 – 360°), снижая стартовое время и обеспечивая устойчивый самозапуск при низких скоростях ветра. Несмотря на локальное увеличение времени старта в интервале 180 – 210°, полученные результаты подтверждают эффективность геометрической модификации и её применимость для оптимизации работы ВЭУ в реальных эксплуатационных условиях.

Практическая ценность работы заключается в повышении эффективности маломасштабных ВЭУ за счёт применения несимметричных лопастей и направляющих пластин. Полученные результаты могут использоваться при проектировании турбин для регионов с низкими скоростями ветра, обеспечивая лучший самозапуск и увеличение мощности турбины.

Достоверность и обоснованность данных подтверждаются проведением прямого физического эксперимента и численного моделирования, использованием стандартных методов обработки данных и компьютерных программ, Кроме того достоверность результатов подтвержается наличием публикаций в научных журналах дальнего зарубежья с высоким импакт-фактором, а также в изданиях рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республик Казахстан (КОКСНВО МНВО РК), и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, 2 статьи в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, и 1 тезис в материалах международных научных конференций.

Апробация результатов работы

Статьи с высоким импакт-фактором в базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

1. Isataev, M.; Manatbayev, R.; **Seydulla, Z.;** Bektibai, B.; Kalassov, N. Study of Aerodynamic Characteristics of Asymmetrical Blades and a Wind-Driven Power Plant with a Vertical Axis of Rotation. *Appl. Sci.* 2024, 14, 11654. https://doi.org/10.3390/app142411654. (Q1, Процентиль 79%).

2. Isataev, M.; Manatbayev, R.; **Seydulla, Z.;** Kalassov, N.; Yershina, A.; Baizhuma, Z. Experimental and Computational Study of the Aerodynamic Characteristics of a Darrieus Rotor with Asymmetrical Blades to Increase Turbine

Efficiency Under LowWind Velocity Conditions. *Appl. Syst. Innov.* 2025, 8, 49. https://doi.org/10.3390/asi8020049. (Q2, Процентиль 82%).

Статьи в изданиях, рекомендуемых КОКСНВО РК:

1. Исатаев М.С., Ершина А.К., Манатбаев Р.К., **Сейдулла Ж.К.** Экспериментальное исследование характеристик вэу с лопастями несиммитричной формы в аэродинамической трубе // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. -№ 1 (68). -2025. - С.80-90.

2. **Сейдулла Ж.Қ.,** Исатаев М.С., Манатбаев Р.Қ., Ершина А.Қ., Додаев С. Тік осьті жел қондырғысына арналған симметриялы емес пішінді қалақшалардың аэродинамикасын зерттеу // Вестник торайгыровского университета. Энергетическая серия. - № 1. -2025. - Б. 330-343.

Публикации в материалах международных зарубежных и отечественных научных конференций

1. CFD-анализ аэродинамического поведения ротора Дарье с несимметричными лопастями при низкой скорости потока // Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі» – Алматы, Казахстан, – 2025 г. – С. 255.

Авторское свидетельство

1. **Сейдулла Ж.Қ.,** Исатаев М.С., Манатбаев Р.К. Ветротурбина Дарье с лопастями несимметричной формы. Министерство юстиции РК «Национальный институт интеллектуальной собственности», 2025, Авторское свидетельство №53576.

Личный вклад автора заключается в формулировке цели и задач исследования, разработке геометрии ротора и конструкции экспериментальных моделей, проведении экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, выполнении численного моделирования в программной среде ANSYS Fluent, обработке и анализе полученных данных, а также в формулировке выводов и обобщении результатов работы. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах исследования, включая подготовку публикаций и представление результатов на научных конференциях.

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников, а также приложений. Общий объём диссертации составляет 91 страниц основного текста, содержит 46 рисунков, 24 формулы, 2 таблиц и 100 наименований в списке литературы.