

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Алиферов А. И.,

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Кошеков К. Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е. В.,

к.т.н., профессор

Кислов А. П.,

к.т.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Шерязов С. К.

т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)

Искакова З. С.

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

**М. С. Исатаев¹, Б. Ж. Бектибай², *Ж. К. Сейдулла³,
Б. Т. Амир⁴, Ж. Г. Кунтубаева⁵**

^{1,2,3,4,5}Казахский национальный

университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8248-670X>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6411-8049>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0413-6557>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9347-8379>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8010-9510>

*e-mail: Zhanibek.seidulla@kaznu.edu.kz

ВЭУ С КОАКСИАЛЬНЫМИ ВАЛАМИ И ОБГОНЯЮЩЕЙ МУФТОЙ 30° ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАРТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе представлено экспериментальное исследование вертикальной ветроэнергетической установки типа Дарье с коаксиальными валами и обгоняющей муфтой с углом зацепления 30°, направленное на повышение стартовых характеристик и устойчивости вращения при низких скоростях ветра. Предложенная конструктивная схема обеспечивает фазовое согласование вращения коаксиальных валов и одностороннюю передачу крутящего момента, что способствует улучшению самозапуска и снижению пульсаций момента.

Эксперименты провели в аэродинамическом туннеле собственной конструкции. Испытывали четырёхлопастной ротор с профилем NASA 0021 при скоростях воздушного потока 6, 7 и 8 м/с. Частоту вращения снимали лазерным бесконтактным тахометром с точностью $\pm 1\%$; каждый режим прогоняли трижды и дальше работали со средними значениями. Для чистоты сравнения рассмотрели базовую конфигурацию без углового опережения (0°) и вариант с фазовым смещением 30°.

Картина получилась вполне однозначная. Обгоняющая муфта с углом зацепления 30° даёт более интенсивный разгон ротора на промежуточных режимах, уменьшает инерционные потери между коаксиальными валами и в целом делает динамику вращения спокойнее

и предсказуемое. При росте скорости воздушного потока разница между конфигурациями постепенно сглаживается – и это логично: когда ветра достаточно, установка и так выходит на режим без «подпорок». В итоге фазовое смещение показывает себя как рабочий инструмент именно для старта и низко-умеренных скоростей. Предложенную конструктивную концепцию можно использовать при разработке вертикально-осевых ВЭУ, рассчитанных на эксплуатацию в условиях слабого и умеренного ветра.

Ключевые слова: ротор Дарье, ВЭУ; коаксиальные валы, обгоняющая муфта, профиль NASA0021, стартовые характеристики.

Введение

Климатическая повестка накаляется, традиционные энергоносители дорожают и исчерпываются, а экологические требования становятся жёстче – всё это подталкивает энергетику искать рабочие решения в секторе ВИЭ [1]. Ветроэнергетика здесь – один из главных кандидатов. Но у классических ветроустановок есть неприятная привычка: при переменном или слабом ветре они не всегда держат стабильный режим и часто теряют эффективность именно тогда, когда она нужна больше всего [2].

На этом фоне вертикально-осевые ветроэнергетические установки (VAWT) снова попали в фокус [3]. У них есть ряд конструктивных плюсов, которые в поле ощущаются сразу: они не завязаны на направление ветра, компактны, шумят заметно меньше и терпимее относятся к турбулентным [4], разнонаправленным потокам – а в городской среде иначе и не бывает [5]. С появлением более доступных вычислительных моделей и аккуратных экспериментальных методик интерес к VAWT закономерно вырос [6], их всё чаще рассматривают как вариант для распределённой генерации и территорий с невысоким ветровым потенциалом [7].

Но романтика заканчивается там, где начинается аэродинамика. Массовому внедрению вертикально-осевых установок мешают вполне конкретные проблемы, и главная из них – слабый самозапуск при малых и умеренных скоростях ветра, на старте трудно сформировать устойчивый крутящий момент, и система раскачивается дольше, чем хотелось бы [8]. Дальше добавляются пульсации момента при переходе лопастей из наветренной в подветренную зону [9], динамический срыв потока, повторное взаимодействие с возмущённым следом и узкий рабочий коридор по коэффициенту быстроходности (TSR) [10]. Свою долю вносит и вертикальная компоновка: она повышает изгибающие нагрузки и нагрузку

на подшипниковые узлы, из-за чего масштабировать такие установки до больших мощностей становится заметно сложнее [11].

Поэтому сегодняшние исследования VAWT всё чаще упираются не в красивую теорию [12], а в конкретную инженерную задачу: как подтянуть конструктивную схему и аэродинамику так, чтобы установка уверенно стартовала и не трясла моментом на каждом обороте [13]. В ход идут разные подходы – гибридные конфигурации, спиральные и закрученные лопасти [14], системы изменяемого шага, а также многороторные и коаксиальные решения [15]. Общая цель у них одна: поднять пусковой момент и сделать выходной крутящий момент более ровным [16], без лишних провалов и пиков [17]. Параллельно заметно окрепли CFD-моделирование и оптимизационные методы, они точнее ловят нестационарные эффекты и помогают сокращать разрыв по эффективности между VAWT и HAWT [18], который раньше казался почти неизбежным [19].

В этой работе мы предлагаем конструктивную концепцию, которая бьёт прямо в слабое место вертикально-осевых установок – старт. Речь о VAWT с коаксиальными валами и обгоняющей муфтой с углом сцепления 30° . Коаксиальная схема вместе с механизмом обгона позволяет передавать инерционный момент между валами и удерживать согласованное угловое положение, за счёт чего самозапуск идёт быстрее, а пульсации крутящего момента на начальном этапе становятся заметно мягче. Важно, что обгоняющая муфта с углом сцепления 30° даёт эту стабилизацию без усложнения аэродинамической компоновки: железо помогает пройти самый капризный режим, не заставляя заново перекраивать ротор. В итоге установка выигрывает именно там, где ветер низкий, – и по стабильности, и по общей энергетической отдаче [20].

Материалы и методы

Испытания мы проводили в аэродинамической лаборатории на изготовленных макетах роторов. Аэродинамические характеристики исследовали в экспериментальном туннеле собственной сборки, который показан на рисунке 1. Такой стенд позволил воспроизвести управляемый воздушный поток и в одинаковых условиях сравнить работу исследуемых конфигураций.



Рисунок 1 – Общий вид аэродинамической туннели

Аэродинамический туннель мы собрали из ОСБ-плит – без экзотики, зато жёстко и предсказуемо по геометрии. Рабочий канал выполнен прямоугольным: 1250×1250 мм, а общая длина установки составляет 4100 мм. В торцевой части стоит осевой вентилятор диаметром 840 мм, который в рабочей зоне, формируя направленный воздушный поток. Противоположный торец оставили открытым – так поток свободно выходит и не создаёт лишних паразитных подпоров.

Рабочую часть разместили в центральной зоне по длинной стороне: она даёт доступ для визуального контроля и удобна для измерений. Скорость потока фиксировали цифровым анемометром UNI-T UT361, установленным в зоне устоявшегося потока в рабочей части туннеля. Вентилятор приводится трёхфазным асинхронным электродвигателем ПРАКТИК АИР100S4 У1 (номинальная мощность 3 кВт, частота вращения 1410 об/мин), что позволяет держать поток достаточно стабильным для серии повторяемых испытаний. В рамках эксперимента скорость воздушного потока варьировали в диапазоне 6–8 м/с и каждый режим фиксировали тем же анемометром. Исследуемый объект размещали непосредственно в рабочей части аэродинамического туннеля.

В работе рассматривается четырёхлопастная вертикально-осевая ветроэнергетическая установка типа Дарье. Ротор включает четыре лопасти, равномерно распределённые вокруг центрального вала, показанной на рисунке 2.



Рисунок 3 – Макет ветроэнергетической установки
в рабочей части аэродинамической туннели

Роторная система включает две пары лопастей, связанные через подшипниковые узлы. Такая схема, с одной стороны, обеспечивает согласованное вращение всей системы, а с другой – даёт возможность отдельно анализировать аэродинамическое поведение каждой пары и точнее отслеживать их взаимное влияние.

На рисунке 4 показана конструкция обгоняющей муфты с углом зацепления 30° , установленной в центральной части роторного узла. Муфта смонтирована на валу и работает как механизм односторонней передачи крутящего момента: при достижении заданного углового положения она передаёт вращение от одного коаксиального вала другому. За счёт этого удаётся согласовать работу валов, снизить потери на переходных режимах и сделать начальную стадию вращения более устойчивой.



Рисунок 4 – Обгоняющая муфта 30°

Конструкция обеспечивает одностороннюю передачу момента и свободный ход при относительном опережении одного из валов, что способствует улучшению стартовых характеристик турбины и синхронизации вращения коаксиальных валов. Геометрические размеры стенда подбирались под размеры рабочей части аэродинамической туннели (таблица 1).

Таблица 1 – Основные размеры ветроколеса.

Параметры	Значение
Диаметр ветрового колеса	840 мм
Высота вала	500 мм
Количество лопастей	4
Хорда лопастей	100 мм
Высота лопасти	700 мм
Длина маха	340 мм

Частоту вращения роторов измеряли лазерным бесконтактным тахометром, показанным на рисунке 5; точность прибора составляла $\pm 1\%$.



Рисунок 5 – Лазерный бесконтактный тахометр АТ-8

Лазерный бесконтактный тахометр измеряет частоту вращения по простому и надёжному принципу – он считает отражённые импульсы света. На вращающийся элемент (вал или лопасть) мы наносили отражающую метку, после чего прибор направлял на неё узкий лазерный луч. Как только метка проходила через зону излучения, свет возвращался на фотодатчик тахометра и формировал импульс. Далее всё делает электроника: фиксирует число импульсов за заданное время и автоматически переводит его в частоту вращения, об/мин.

Главный плюс такого подхода – никакого контакта с ротором. Мы ничего не прижимаем, не тормозим и не подсаживаем систему дополнительной нагрузкой, поэтому измерение не вмешивается в динамику вращения и даёт корректные данные.

Каждый режим измеряли трижды, а для последующего анализа брали среднее значение. Суммарная экспериментальная погрешность при определении аэродинамических характеристик не превышала $\pm 1,2\%$.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные данные для каждого режима сделали три повторения, затем усреднили результаты. После этого данные собрали в понятные сравнительные зависимости – как меняется частота вращения ротора при изменении управляющих параметров стенда. Такой формат убирает случайный шум, уменьшает влияние разовых отклонений и даёт нормальную базу для анализа динамики установки, без подгонки и догадок.

На рисунке 6 показана зависимость частоты вращения ротора (RPM) от режима работы вентилятора при фиксированной скорости воздушного потока 6 м/с. График сравнивает две конфигурации: базовую (угол 0°) и модифицированную с угловым опережением 30° . Эти данные позволяют напрямую оценить, как фазовое смещение влияет на разгонные характеристики и насколько устойчиво ротор держит вращение в рассматриваемом диапазоне режимов.

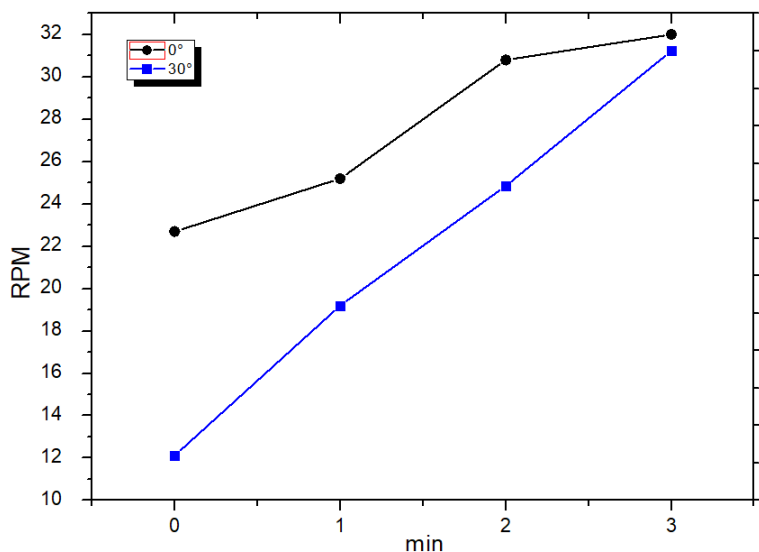


Рисунок 6 – Частота вращения вентилятора 25 об/мин при скорости воздушного потока 6 м/с

Анализ показывает простую картину: по мере увеличения режима работы вентилятора (ось абсцисс) частота вращения растёт у обеих конфигураций. При этом вариант с углом 0° во всём диапазоне держит чуть более высокие обороты. Но важнее другое – разрыв между кривыми постепенно схлопывается. Если на начальном режиме разница составляет порядка 10 об/мин, то на максимальном она уменьшается до 1–2 об/мин. И это уже намекает на динамику: конфигурация с углом 30° набирает обороты интенсивнее, то есть фазовое смещение помогает ротору быстрее разогнаться и увереннее выходить на режим.

На рисунке 7 показана зависимость частоты вращения ротора (RPM) при частоте вращения вентилятора 26 об/мин и скорости воздушного потока 7 м/с для двух конфигураций – без углового опережения (0°) и с углом 30° .

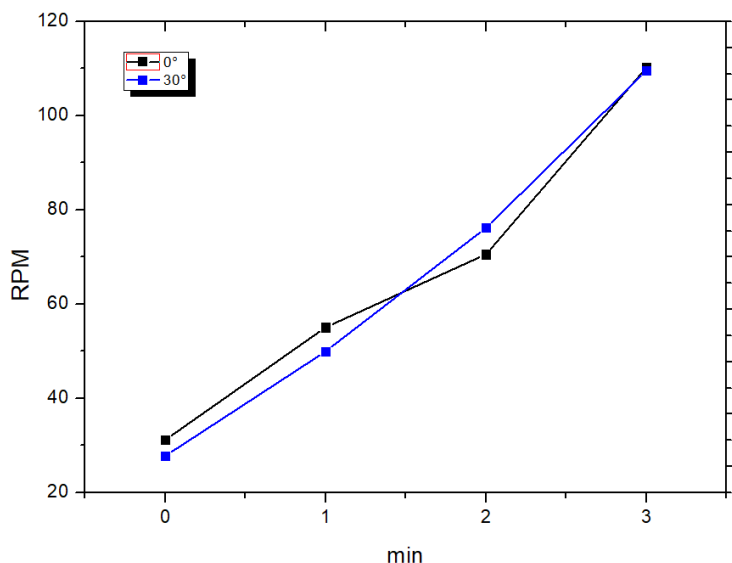


Рисунок 7 – Частота вращения вентилятора 26 об/мин при скорости воздушного потока 7 м/с

График показывает уверенный рост частоты вращения при увеличении режима работы для обеих конфигураций. На старте (нулевая точка по оси абсцисс) базовый вариант 0° даёт немного более высокие обороты, чем конфигурация с углом 30° . Дальше картина меняется: при увеличении режима именно вариант 30° набирает обороты заметно быстрее.

Уже на среднем участке (примерно 2 мин по оси абсцисс) он выходит вперёд, а к максимальному режиму обе кривые практически сходятся – около 110 об/мин.

Это означает, что угловое опережение 30° работает как «ускоритель» разгона: помогает ротору быстрее выходить на режим и сглаживает различия в динамике при более высоких скоростях потока. В итоге вращение становится стабильнее, а поведение установки – предсказуемое.

На рисунке 8 представлена зависимость частоты вращения ротора (RPM) при частоте вращения вентилятора 27 об/мин и скорости воздушного потока 8 м/с для двух конфигураций: базовой (0°) и с углом опережения 30° .

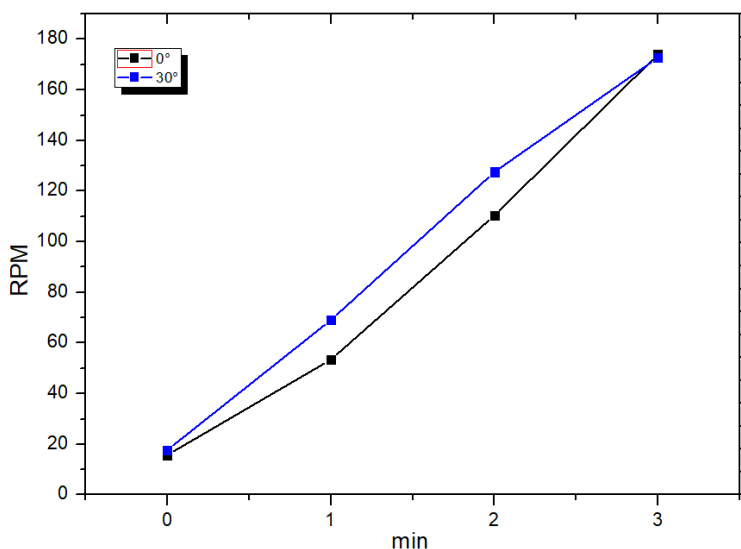


Рисунок 8 – Частота вращения вентилятора 27 об/мин при скорости воздушного потока 8 м/с

Из График показывает почти линейный рост частоты вращения по мере увеличения режима работы – и для базовой схемы, и для варианта с углом 30° . На старте разница между ними минимальна, фактически в пределах рабочего разброса. Но в зоне 1–2 мин по оси абсцисс начинает проявляться характерная деталь: конфигурация с угловым смещением 30° набирает обороты заметно быстрее, чем базовая. На максимальном режиме кривые снова сходятся – частота вращения практически совпадает и достигает порядка 174 об/мин. В итоге получается логичный вывод: смещение 30°

332

даёт выигрыш именно на промежуточных режимах разгона. Оно помогает ротору быстрее выходить на рабочие обороты, уменьшает инерционные потери между элементами системы и в целом улучшает динамику установки при более высоких скоростях воздушного потока.

Информация о финансировании

Данная работа была выполнена в рамках конкурса на грантовое финансирование научных и (или) научно-технических проектов на 2024–2026 годы, проводимого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан. Номер проекта: AP23487726.

Выводы

Проведённые эксперименты показали, что коаксиальная схема с обгоняющей муфтой и углом зацепления 30° – не концепт на бумаге, а реально работающий способ подтянуть стартовые характеристики вертикально-осевой ветроэнергетической установки. По зависимостям частоты вращения видно, что угловое опережение помогает ротору активнее разогнаться на промежуточных режимах и постепенно сокращает разницу между конфигурациями по мере роста скорости потока. Иными словами, фазовое смещение даёт плюс именно там, где старт обычно самый капризный, – на этапе начального разгона и выхода на устойчивое вращение. При увеличении скорости потока до 6–8 м/с частота вращения обеих схем растёт стабильно, но вариант с углом 30° показывает более заметный прирост оборотов в переходных режимах. Здесь хорошо «срабатывает» механика: обгоняющая муфта обеспечивает одностороннюю передачу момента и частично компенсирует инерционные потери между коаксиальными валами. В результате улучшается самозапуск и сглаживаются пульсации крутящего момента, что напрямую влияет на устойчивость работы установки. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего развития коаксиальных компоновок с механизмами фазового согласования для повышения энергетической эффективности VAWT при низких и умеренных скоростях ветра. Предложенная методика экспериментальной оценки может служить основой для последующей оптимизации геометрических и кинематических параметров установки, а также для масштабирования конструкции до полупромышленных образцов.

REFERENCES

- 1 **Backwell, B.** GWEC's GlobalWind Report 2024. – 2024. [Electronic resource]. – Available online: <https://www.gwec.net/gwec-news/wind-industryinstalls-record-capacity-in-2024-despite-policy-instability>.

- 2 **Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S., Devabhaktuni, V.K., Lee, W., Nikolaidis, E., Andersen, B., Afjeh, A.** Wind energy : Trends and enabling technologies // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2016. – 53. – P. 209–224.
- 3 **Li, Y., Zheng, Y., Zhao, S., Fenf, F., Li, J., Wang, N., Bai, R.** A review on aerodynamic characteristics of straight-bladed vertical axis wind turbines // *Acta Aerodyn. Sin.* – 2017. – 35. – P. 368–382.
- 4 **Barnes, A., Marshall-Cross, D., Hughes, B. R.** Towards a standard approach for future Vertical Axis Wind Turbine aerodynamics research and development // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2021. – 148. – P. 111221.
- 5 **Rezaei, F., Paraschivoiu, M.** Computational study of the effect of building height on the performance of roof-mounted VAWT // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.* – 2023. – Vol. 241. – Art. 105540. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105540>
- 6 **Randall, R., Chen, C., Ageze, M. B., Tigabu, M. T.** Perspectives of Vertical Axis Wind Turbines in Cluster Configurations // *Fluid Dynamics and Materials Processing.* – 2024. – Vol. 20, No. 12. – P. 2657–2691. – <https://doi.org/10.32604/fdmp.2024.058169>
- 7 **Jin, G., Zong, Z., Jiang, Y., Zou, L.** Aerodynamic analysis of side-by-side placed twin vertical-axis wind turbines // *Ocean Engineering.* – 2020. – Vol. 209. – Art. 107296. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107296>
- 8 **Le Fouest, S., Mulleners, K.** The dynamic stall dilemma for vertical-axis wind turbines // *Renewable Energy.* – 2022. – Vol. 198. – P. 505–520. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.071>
- 9 **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 low wind velocity conditions // *Applied System Innovation.* – 2025. – Vol. 8, No. 2. – Art. 49. – <https://doi.org/10.3390/asi8020049>
- 10 **Dai, J., Li, M., Chen, H., He, T., Zhang, F.** Progress and challenges on blade load research of large-scale wind turbines // *Renewable Energy.* – 2022. – Vol. 196. – P. 482–496. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.017>
- 11 **Yebarat, A., Tayebi, A., Shekari, Y.** Numerical investigation of the torque produced by Darrieus vertical axis wind turbine in dusty flow // *Renewable Energy.* – 2025. – Vol. 244. – Art. 122731. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122731>
- 12 **Gallorini, F., Barelli, L.** Design and prototyping of miniature wind turbine and power generation section for the exploitation of wind generated by vehicle movement in road tunnels // *Energy.* – 2024. – Vol. 305. – Art. 132308. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132308>

- 13 **Talamalek, A., Runacres, M. C., De Troyer, T.** Experimental investigation of the wake replenishment mechanisms of paired counter-rotating vertical-axis wind turbines // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2024. – Vol. 252. – Art. 105830. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105830>
- 14 **Rahmatian, M. A., Khaksar, S., Tari, P. H., Karbasian, H. R.** Optimizing duct geometry for micro-scale VAWTs: Exploring aerodynamics and aeroacoustics with URANS and DDES models // *Energy*. – 2024. – Vol. 313. – Art. 134043. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134043>
- 15 **Abdel-Razak, M. H., Emam, M., Okawara, S., Hassan, H.** Power performance enhancement for a three-turbine cluster of two-stage Savonius rotors using Taguchi approach // *Energy*. – 2024. – Vol. 308. – Art. 132903. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132903>
- 16 **Gupta, A., Abderrahmane, H. A., Janajreh, I.** Flow analysis and sensitivity study of vertical-axis wind turbine under variable pitching // *Applied Energy*. – 2024. – Vol. 358. – Art. 122648. – <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122648>
- 17 **Zhang, Q., Bashir, M., Miao, W., Liu, Q., Li, C., Yue, M., Wang, P.** Aerodynamic analysis of a novel pitch control strategy and parameter combination for vertical axis wind turbines // *Renewable Energy*. – 2023. – Vol. 216. – Art. 119089. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119089>
- 18 **Chen, Y., Zhang, D., Li, X., Peng, Y., Zhang, X., Han, Z., Cao, Y., Dong, Z.** Surrogate models for twin-VAWT performance based on Kriging and artificial neural networks // *Ocean Engineering*. – 2023. – Vol. 273. – Art. 113947. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113947>
- 19 **Sun, Y., Qian, Y., Gao, Y., Wang, T., Wang, L.** Stall control on the wind turbine airfoil via the single and dual-channel of combining bowing and suction technique // *Energy*. – 2024. – Vol. 290. – Art. 130224. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130224>
- 20 **Исатаев, М. С., Манатбаев, Р. К., Бектибай, Б. Ж., Әмір, Б. Т., Байжума, Ж. Е., Қаласов, Н. Б., Сейдулла, Ж. Қ.** Ветряная Турбина: патент на полезную модель № 10579 Респ. Казахстан; опубл. 11.02.2025. – Астана : Национальный институт интеллектуальной собственности.

REFERENCES

- 1 **Backwell, B.** GWEC's GlobalWind Report 2024. – 2024. [Electronic resource]. – Available online: <https://www.gwec.net/gwec-news/wind-industryinstalls-record-capacity-in-2024-despite-policy-instability>.

- 2 **Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S., Devabhaktuni, V.K., Lee, W., Nikolaidis, E., Andersen, B., Afjeh, A.** Wind energy : Trends and enabling technologies // *Renew. Sustain. – Energy Rev.* – 2016. – 53. – P. 209–224.
- 3 **Li, Y., Zheng, Y., Zhao, S., Fenf, F., Li, J., Wang, N., Bai, R.** A review on aerodynamic characteristics of straight-bladed vertical axis wind turbines // *Acta Aerodyn. Sin.* – 2017. – 35. – P. 368–382.
- 4 **Barnes, A., Marshall-Cross, D., Hughes, B. R.** Towards a standard approach for future Vertical Axis Wind Turbine aerodynamics research and development // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2021. – 148. – P. 111–221.
- 5 **Rezaei, F., Paraschivoiu, M.** Computational study of the effect of building height on the performance of roof-mounted VAWT // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.* – 2023. – Vol. 241. – Art. 105540. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105540>
- 6 **Randall, R., Chen, C., Ageze, M. B., Tigabu, M. T.** Perspectives of Vertical Axis Wind Turbines in Cluster Configurations // *Fluid Dynamics and Materials Processing.* – 2024. – Vol. 20, No. 12. – P. 2657–2691. – <https://doi.org/10.32604/fdmp.2024.058169>
- 7 **Jin, G., Zong, Z., Jiang, Y., Zou, L.** Aerodynamic analysis of side-by-side placed twin vertical-axis wind turbines // *Ocean Engineering.* – 2020. – Vol. 209. – Art. 107296. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107296>
- 8 **Le Fouest, S., Mulleners, K.** The dynamic stall dilemma for vertical-axis wind turbines // *Renewable Energy.* – 2022. – Vol. 198. – P. 505–520. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.071>
- 9 **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 low wind velocity conditions // *Applied System Innovation.* – 2025. – Vol. 8, No. 2. – Art. 49. – <https://doi.org/10.3390/asi8020049>
- 10 **Dai, J., Li, M., Chen, H., He, T., Zhang, F.** Progress and challenges on blade load research of large-scale wind turbines // *Renewable Energy.* – 2022. – Vol. 196. – P. 482–496. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.017>
- 11 **Yebarat, A., Tayebi, A., Shekari, Y.** Numerical investigation of the torque produced by Darrieus vertical axis wind turbine in dusty flow // *Renewable Energy.* – 2025. – Vol. 244. – Art. 122731. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122731>
- 12 **Gallorini, F., Barelli, L.** Design and prototyping of miniature wind turbine and power generation section for the exploitation of wind generated by vehicle movement in road tunnels // *Energy.* – 2024. – Vol. 305. – Art. 132308. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132308>

- 13 **Talamalek, A., Runacres, M. C., De Troyer, T.** Experimental investigation of the wake replenishment mechanisms of paired counter-rotating vertical-axis wind turbines // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2024. – Vol. 252. – Art. 105830. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105830>
- 14 **Rahmatian, M. A., Khaksar, S., Tari, P. H., Karbasian, H. R.** Optimizing duct geometry for micro-scale VAWTs: Exploring aerodynamics and aeroacoustics with URANS and DDES models // *Energy*. – 2024. – Vol. 313. – Art. 134043. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134043>
- 15 **Abdel-Razak, M. H., Emam, M., Okawara, S., Hassan, H.** Power performance enhancement for a three-turbine cluster of two-stage Savonius rotors using Taguchi approach // *Energy*. – 2024. – Vol. 308. – Art. 132903. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132903>
- 16 **Gupta, A., Abderrahmane, H. A., Janajreh, I.** Flow analysis and sensitivity study of vertical-axis wind turbine under variable pitching // *Applied Energy*. – 2024. – Vol. 358. – Art. 122648. – <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122648>
- 17 **Zhang, Q., Bashir, M., Miao, W., Liu, Q., Li, C., Yue, M., Wang, P.** Aerodynamic analysis of a novel pitch control strategy and parameter combination for vertical axis wind turbines // *Renewable Energy*. – 2023. – Vol. 216. – Art. 119089. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119089>
- 18 **Chen, Y., Zhang, D., Li, X., Peng, Y., Zhang, X., Han, Z., Cao, Y., Dong, Z.** Surrogate models for twin-VAWT performance based on Kriging and artificial neural networks // *Ocean Engineering*. – 2023. – Vol. 273. – Art. 113947. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113947>
- 19 **Sun, Y., Qian, Y., Gao, Y., Wang, T., Wang, L.** Stall control on the wind turbine airfoil via the single and dual-channel of combining bowing and suction technique // *Energy*. – 2024. – Vol. 290. – Art. 130224. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130224>
- 20 **Isataev, M. S., Manatbaev, R. K., Bektibaj, B. Zh., Amir, B. T., Bajzhuma, Zh. E., Kalasov, N. B., Sejdulla, Zh. K.** Vetryanaya Turbina: patent na poleznuyu model' № 10579 Resp. Kazakhstan; opubl. 11.02.2025 [WIND TURBINE: utility model patent No. 10579 Rep. Kazakhstan]; published on 02/11/2025. – Astana : National Institute of Intellectual Property.

Поступило в редакцию 02.04.26.

Поступило с исправлениями 24.04.26.

Принято в печать 02.09.26.

М. С. Исатаев¹, Б. Ж. Бектібай², *Ж. Қ. Сейдулла³,

Б. Т. Әмір⁴, Ж. Ф. Қунтубаева⁵

^{1,2,3,4,5}Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

02.04.26 ж. баспаға түсті.

24.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

02.09.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

КОАКСИАЛДЫ БІЛІКТЕРІ ЖӘНЕ ІСКЕ ҚОСУ ӨНІМДІЛІГІН ЖАҚСARTY YШІН 30° ОЗЫП КЕТY МУФТАСЫ БАР ТІК ЖЕЛ ТУРБИНАСЫ

Бұл жұмыста төмен жылдамдықтағы жел жағдайында іске қосу сипаттамаларын және айналу тұрақтылығын арттыруға бағытталған коаксиалды біліктері және 30° ілінісу бұрышы бар обгоняушы муфтамен жабдықталған Дарье типті тік осьті жел энергетикалық қондырғысының эксперименттік зерттеуі ұсынылған. Ұсынылған конструктивтік сызба коаксиалды біліктердің айналуын фазалық үйлестіруді және айналу моментін біржақты беруді қамтамасыз етеді, бұл өздігінен іске қосылу қабілетін жақсартып, момент пульсациясын азайтады.

Эксперименттік зерттеулер өзіміз құрастырған аэродинамикалық туннельде жүргізілді. Сынақтар NASA0021 профилі бар төрт қалақты ротор үшін ауа ағынының 6, 7 және 8 м/с жылдамдықтар диапазонында орындалды. Айналу жиілігі $\pm 1\%$ дәлдікке ие лазерлік жанаспайтын тахометр арқылы өлшенді, әр режим үш рет қайталанды. Негізгі конфигурация (0°) мен 30° бұрыштық ілгерілеуі бар нұсқаға салыстырмалы талдау жүргізілді.

Алынған нәтижелер 30° обгоняушы муфтаны қолдану аралық жұмыс режимдерінде ротордың қарқынды үдеуін қамтамасыз ететінін, коаксиалды біліктер арасындағы инерциялық шығындарды азайтатынын және айналу динамикасын тұрақтандыратынын көрсетті. Ауа ағыны жылдамдығы артқан сайын конфигурациялар арасындағы айырмашылық азаяды, бұл фазалық ығыстырудың іске қосу сипаттамаларына оң әсерін растайды. Ұсынылған конструктивтік шешім төмен және орташа жел жылдамдықтарында жұмыс істеуге бағытталған тік осьті жел энергетикалық қондырғыларын әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: Дарье роторы, ЖЭУ, коаксиалды біліктер, басып озу муфтасы, NACA0021 профилі, старттық сипаттамалары.

*M. S. Isataev¹, B. Zh. Bektibay², *Zh. K. Seydulla³,*

B. T. Amir⁴, Zh. G. Kuntubayeva⁵

^{1,2,3,4,5} Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 02.04.26.

Received in revised form 24.04.26.

Accepted for publication 02.09.26.

VERTICAL AXIS WIND TURBINE WITH COAXIAL SHAFTS AND A 30° OVERRUNNING CLUTCH FOR ENHANCED START-UP PERFORMANCE

This paper presents an experimental study of a Darrieus-type vertical-axis wind turbine with coaxial shafts and a 30° overrunning clutch, aimed at improving start-up performance and rotational stability at low wind speeds. The proposed design ensures phase synchronization between the coaxial shafts and one-way torque transmission, which enhances self-starting capability and reduces torque fluctuations.

The experimental investigations were carried out in a self-constructed wind tunnel. Tests were performed on a four-bladed rotor equipped with a NACA0021 airfoil profile at airflow velocities of 6, 7, and 8 m/s. The rotational speed was measured using a laser non-contact tachometer with an accuracy of ± 1 %, with each operating condition repeated three times. A comparative analysis was conducted between the baseline configuration (0°) and the modified configuration with a 30° phase lead.

The results demonstrate that the application of a 30° overrunning clutch provides a more intensive rotor acceleration in intermediate operating modes, reduces inertial losses between the coaxial shafts, and improves rotational stability. As the airflow velocity increases, the difference between the configurations decreases, confirming the positive effect of phase shifting on start-up characteristics. The proposed design concept can be applied in the development of vertical-axis wind turbines intended for operation under low and moderate wind speed conditions.

Keywords: Darrieus rotor, wind turbine, coaxial shafts, overrunning clutch, NACA0021 profile, starting characteristics.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

19,0 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.

Электронное издание

19,0 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz