

## АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07101 – Электроэнергетика (специальности 6D071800 – Электроэнергетика)

АГИМОВА ТАЛГАТА НУРЛАНОВИЧА

**на тему «Разработка и исследование вентильного генератора с широким диапазоном частоты вращения и стабильным напряжением для малых ветровых электростанций»**

### *Актуальность темы диссертационного исследования.*

В Казахстане известны многие территории со средней годовой скоростью ветра 8–10 м/с, являющихся богатыми источниками ветровой энергии. При этом особенность ветрового режима заключается в непрерывном изменении направления и скорости ветра в течение десятков секунд от 2-3 м/с до штормовых 30-40 м/с. В таких ветровых условиях наиболее эффективно использовать вертикальные ветряные турбины (ВВТ), которые имеют высокий пусковой момент, низкий уровень шума и не требуют дополнительной манипуляции для запуска при минимальной скорости ветра в 2-3 м/с.

Казахстанские ученые предложили свои разработки, особенно малой мощности с вертикальной неподвижной осью. Установки Буктукова Н.С., А.В. Болотова, Ш.А. Ершина и другие могут работать при любом направлении ветра и скорости – от 3 до 60–80 м/с, все 300–330 дней в году.

Особенность ВВТ заключается в том, что они способны работать на более низких частотах вращения и практичны в эксплуатации. Его конструкция содержит меньше механизмов и компонентов, что повышает надежность работы их турбины.

Распространенные в Казахстане ВВТ оснащены электрогенераторами переменного тока (мощностью 2-5 кВт), которые работают в ограниченном диапазоне скорости ветра (примерно 5-12 м/с), из-за соблюдения паспортных (заводских) параметров по напряжению и частоте тока.

Анализ существующих типов ветрогенераторов показал, что решить поставленную задачу путем создания электрогенератора с широким диапазоном регулирования частоты вращения представляет определенные сложности. Чем шире диапазон регулирования индукции, тем больше объем, вес и стоимость электрогенератора, меньше его перегрузочная способность. При этом его внешняя характеристика становится мягче. Это вызвано ростом реакции якоря электрогенератора.

Использование резерва механической энергии ВВТ при различных скоростях ветра дает возможность повышать их коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) на основе разработки принципиально новых вентильных генераторов с широким диапазоном частоты вращения

(ВГШД), способных поддерживать постоянство выходного напряжения при различных скоростях ветра.

**Целью работы** является повышения эффективности ВВТ путем разработки вентильного генератора с широким диапазоном частоты вращения для стабилизации выходного напряжения.

**Задачи исследования.** Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- на основе анализа литературных источников и патентного поиска выявить новые способы эффективного использования мощности ВВТ для выработки электроэнергии;
- разработать новые схемы соединения и методику расчета якорной обмотки ВГШД для дискретной стабилизации вырабатываемого напряжения;
- разработать имитационную модель ВГШД в среде пакета программ MatLab/Simulink для теоретического исследования различных режимов работы;
- создать испытательный стенд и провести экспериментальные исследования по совместимости ВВТ и ВГШД при различных режимах работы;
- провести сравнение расчетных и экспериментальных данных и выработать рекомендации по эксплуатации ВГШД.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Выявлен эффективный способ использования резерва механической мощности ВВТ для выработки электроэнергии на основе разработки и применения ВГШД;
2. Разработан ступенчато-плавной способ стабилизации напряжения ВГШД за счет переключения групп параллельных ветвей якорной обмотки и плавного регулирования тока возбуждения;
3. Получены новые результаты теоретических и экспериментальных исследований по совместимости работы ВВТ и ВГШД в широком диапазоне изменения скорости вращения, определяющие совершенство конструкции и эффективность работы ВГШД.

По результатам выполненных работ и проведенных исследований, на защиту выносятся следующие основные научные положения и результаты:

1. Концепция эффективного использования механической мощности ВВТ для выработки электроэнергии на основе использования ВГШД;
2. Схемы создания новых групп параллельных ветвей якорной обмотки ВГШД и методика расчета их технических параметров;
3. Способ стабилизации напряжения ВГШД за счет ступенчатого переключения групп параллельных ветвей якорной обмотки и плавного регулирования тока возбуждения;
4. Результаты теоретических и экспериментальных данных по стабилизации выходного напряжения ВГШД при различной скорости вращения ВВТ;

5. Результаты разработки нового ВГШД с улучшенными основными характеристиками, определяющими эффективность технических и экономических показателей.

***Практическая значимость*** исследования заключается в том, что:

- разработанный и исследованный ВГШД может быть успешно использован на ВВТ и других типов ветряных турбин для автономного электроснабжения отдаленных объектов, к которым не подведены линии электропередачи;

- ВВТ с ВГШД позволяют заряжать аккумуляторные батареи, которые служат как источники питания для автономных потребителей отдаленных объектов, а также малого электротранспорта, дронов и беспилотных летательных аппаратов в труднодоступных районах;

- полученные результаты исследования будут полезны для создания ВГШД силами небольших предприятий на базе новых, бывших в употреблении или списанных синхронных генераторов различных транспортных средств;

- материалы диссертации могут быть использованы в учебном процессе по дисциплинам, изучающим электрогенераторы с переменной частотой вращения (ветровые установки, гидроагрегаты и т.п.).

***Достоверность работы и полученных результатов.*** Достоверность полученных результатов в диссертационной работе обеспечивалась:

- Использованием в экспериментах современных приборов с высокой точностью измерения напряжения, токов и температуры нагрева ветвей якорной обмотки ВГШД (цифровой мультиметр UT181A с функцией true RMS, цифровые мультиметры UT33B+, цифровой тахометр UT371 UNI-T и цифровой осциллограф-мультиметр UTD1025 UNI-T).

- Сравнительным анализом теоретических и экспериментальных исследований и документированием параметров внешних и регулировочных характеристик ВГШД;

- Данное исследование было проведено в рамках Проекта грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы (AP19679469 «Разработка вентильного генератора с широким диапазоном частоты вращения и стабильным выходным напряжением для малых ветровых электростанций»).

***Апробация результатов исследований:*** Основные результаты работы были представлены и обсуждены на XIII Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование», приуроченной к 50-летию Алматинского университета энергетики и связи. (Алматы, 2025 г.); на VI международной научной конгрессе Scientific congress Agricultural machinery volume 1 «Agricultural machines. Research and testing. New machine designs» (Burgas, Bulgaria 2018 г.); на международной научно-технической конференции XIV «2018 14th International scientific technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE)» (Novosibirsk, 2018 г.); на международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы транспорта и

энергетики: пути их инновационного решения» (Астана, 2017 г.); на республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Приоритетные направления развития АПК: глобальные вызовы и научно-технический потенциал» (Алматы, 2017 г.); на материалах международной научно-практической конференции «Инновации в науке, образовании и производстве Казахстана» (Алматы, 2016 г.);

**Публикации.** По данной теме диссертации опубликованы: 2 статьи в журналах, входящих в базу данных Scopus, 5 статей в журналах, рекомендуемых КОКСНВО МНВО РК, 5 докладов в сборниках международных научных конференций. Получены 2 патента на полезную модель.

***Личный вклад автора состоит:***

- в проведении литературного обзора и патентного поиска по теме диссертации, выполнении теоретических исследований при разработке имитационного моделирования на Matlab Simulink;

- разработке испытательного стенда и проведении опытов, обработке результатов экспериментальных данных, публикации статей в научно-технических журналах;

- в подготовке патентов на полезную модель и апробации результатов исследования.

- при участии научного руководителя и зарубежного консультанта выявлены основные направления работы;

**Объем и структура.** Содержание диссертационной работы: введение, 4 раздела, заключение, список использованной литературы и приложения. Объем диссертации содержит 133 страниц, 43 рисунков и 11 таблиц.

***Введение содержит выявленные*** проблемы по тематике исследования и актуальность выбранной темы. Проведен анализ литературных источников и патентный поиск. Представлены: постановка цели и задач исследования, научная новизна работы, практическая значимость, достоверность, личный вклад автора, статьи и апробация результатов исследования.

***В первом разделе*** проведен краткий анализ ветрового потенциала Казахстана и перспективы применения различных ветряных турбин. Выявлены резервы механической мощности ВВТ, которые можно использовать для получения дополнительной электроэнергии. Приведены преимущества и недостатки существующих ветровых электрогенераторов. Обоснованы тип и мощности электрогенераторов для распространенных ВВТ. Показаны способы использования ВГШД для электроснабжения отдаленных объектов.

***Во втором разделе*** приведена концепция функционирования ВГШД с учетом стабилизации выходного напряжения в заданных пределах при различных скоростях ветрового потока. Разработаны схемы соединения групп параллельных ветвей якорной обмотки, позволяющие ступенчато поддерживать выходное напряжение. Приведена упрощенная модель ВГШД с уменьшенным количеством коммутирующих контактов групп параллельных ветвей за счет переключения диодных мостов на параллельное или

последовательное соединения. Разработана методика расчета параметров ВГШД, которая позволяет определить эффективные схемы перемотки якорной обмотки.

**В третьем разделе** представлены принципиальная электрическая схема и описание испытательного стенда с физическими моделями ВВТ и ВГШД. Разработана методика проведения экспериментальных исследований. Показан общий вид элементов стенда и приведены электротехнические характеристики измерительных приборов.

По результатам экспериментальных исследований построены соответствующие графики. Проведена проверка совместимости ВВТ и ВГШД при различных режимах работы. Показаны характеристики холостого хода при различной скорости вращения ВГШД. Построены внешние и специальные регулировочные характеристики. Получены выводы по аппроксимации экспериментальных данных с использованием программы MatLab.

**В четвертом разделе** проведено имитационное моделирование ВГШД с применением пакета программы Matlab/Simulink. Показаны основные допущения и границы применимости этой программы. Приведены характеристики изменения напряжения и тока возбуждения при различных режимах работы ВГШД. Составлена схема автоматического регулирования тока возбуждения. Разработан алгоритм управления режимов работы ВГШД.

**Заключение** включает в себя подробные результаты и выводы, которые свидетельствуют о высоком уровне исследования и его значимости для разработки ВГШД для ветровых установок. Отмечен способность ВГШД поддерживать заданный уровень вырабатываемого напряжения при широком диапазоне изменения скорости ветрового потока.

**Приложения** содержат копии патентов Республики Казахстан на полезную модель, акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс и производство от ТОО «Научно-производственная компания «Талгар возобновляемые источники энергии», список опубликованных научных трудов по теме диссертации и фотографии с испытательной лаборатории.

Данное исследование направлено на решение важной научно-технической задачи, связанной с повышением КИУМ малых ВЭС. Практическая реализация разработанных решений будет способствовать развитию отечественных технологий в области ветроэнергетики, повышению уровня локализации производства электротехнического оборудования и совершенствованию автономных источников электроснабжения в Республике Казахстан.