

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

**НИКОНОВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль «Электроснабжение»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Коротченко  
Лариса Никитовна

**Проверено**

29.02.2024 Зачтено Библиотека

Комсомольск – на – Амуре

2024

Работа выполнена на кафедре «Электромеханика»  
Комсомольского-на-Амуре государственного университета  
(КНАГУ).

Научный руководитель

кандидат тех. наук, доцент

Кузьмин Роман Вячеславович

Рецензент

Заместитель генерального директора  
по управлению персоналом и  
административным вопросам,  
кандидат тех. наук

Киница Олег Игоревич

Защита состоится «22» февраля 2024 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Проведенный анализ текущей ситуации по направлению развития электроустановок на возобновляемой энергии позволяет говорить об актуальности и высоком научном интересе к вопросу энергетических установок на возобновляемой энергии.

В данной работе представлено решение по использованию ветрогенератора, как источника электроэнергии для построения системы резервного энергоснабжения.

Разрабатываемая система электроснабжения является комбинированной: питание потребителей осуществляется как от энергосистемы, так и от ветрогенератора. Построение такой системы позволит обезопасить потребителя от внезапного отключения промсети. Такая технология может получить широкое применение в промышленном секторе.

**Степень разработанности.** В процессе работы над диссертацией был проведен обзор существующих автономных источников электроэнергии. Был предложен вариант для разработки и произведены расчеты комбинированной системы электроснабжения для промышленного предприятия. Разработана и исследована компьютерная математическая модель предложенной системы. Рассмотрены вопросы экономики и безопасности предлагаемой системы.

**Объектом исследования** является гибридная системы электроснабжения на базе электрических сетей централизованной энергосистемы с применением резервных источников электроснабжения на основе возобновляемых природных ресурсов.

**Целью и задачей исследования** является разработка гибридной системы автономного электроснабжения, электромагнитный расчет,

исследование гибридной системы путем моделирования в среде MATLAB Simulink, экономическая оценка системы.

**Личный вклад.** Автором был проведен обзор наиболее перспективных и надежных систем автономного электроснабжения объектов, сделан расчет гибридной системы электроснабжения, проведено моделирование синхронного генератора.

#### **Апробация работы.**

Результаты исследований, включённые в работу, докладывались на всероссийской национальной научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Комсомольск-на-Амуре, 2018 г.), 2-й всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2019 г.) и в общероссийском электронном журнале «Ученые записки Комсомольского- на-Амуре государственного технического университета» № III - 1 (39) 2019 Наука о природе и технике.

**Публикации.** По результатам исследований имеются две публикации:

1. Никонов, С. А. Реализация системы резервного электроснабжения / С. А. Никонов, Р. В. Кузьмин // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 361-363. – EDN TVIKKH.

2. Никонов, С. А. системы резервного электроснабжения / С. А. Никонов, Р. В. Кузьмин // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы V Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 06–11 декабря 2021 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.), А.С. Гудим, Н.Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 151-153. – EDN NEIUJT.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения и списка использованных источников из 28 наименования, содержит 101 страниц машинописного текста, 18 рисунков, 11 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, приводится краткое изложение цели работы, намечен круг решаемых задач.

**Первая глава** содержит анализ известных технических изделий, таких как вертикально-осевой ветрогенератор (рис.1) и ветрогенератор горизонтального исполнения (рис.2).

Патент RU123468U1 вертикально-осевой ветрогенератор.

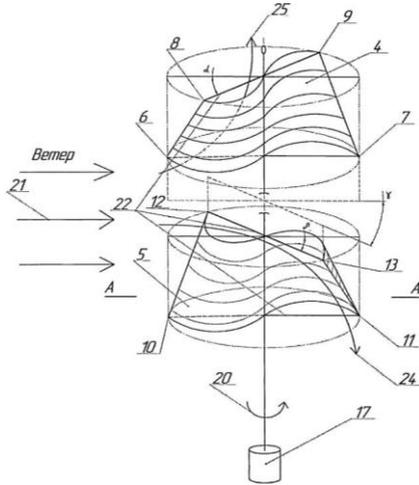


Рисунок 1 – Вертикально-осевой ветрогенератор

Агрегат представляет собой каркас, в котором размещена система из двух рабочих лопастей с переменной толщиной и шириной, которые в вертикальной плоскости изогнуты по спирали, а в горизонтальной по дуге, с помощью коромысел и стяжек они жестко закреплены на валу, который в свою очередь закреплен с помощью подшипников в каркасе. Особенностью данного устройства является наличие зазора между внутренними (ближайшими к валу) кромками лопастей. Набегающий поток воздуха взаимодействует с вогнутой поверхностью одной из двух лопастей, приводя ее в движение, после чего направление потока меняется

почти на 180 градусов, и воздух проходит через упомянутый межлопастной зазор в направлении противоположном направлению набегающего.

После зазора поток попадает на вогнутую поверхность второй лопасти, взаимодействует с ней и снова меняет направление почти на 180 градусов, т.е. покидает турбину в направлении набегающего потока, а также приобретает вертикальную составляющую скорости. Недостатками данного прототипа являются то, что протекание потока воздуха согласно уравнению Бернулли, создает в зазоре пониженное давление. Это пониженное давления воздуха со стороны вогнутой поверхности второй лопасти не может уравновесить динамический напор набегающего потока на противоположную (выпуклую) поверхность этой же лопасти, в результате чего на лопасть действует суммарная тормозящая сила, противодействующая аэродинамической силе, действующей на первую лопасть. Т.е. суммарный момент сил, а с ним коэффициент использования энергии ветра и производимая мощность снижаются.

Патент RU109806 ветрогенератор горизонтального исполнения

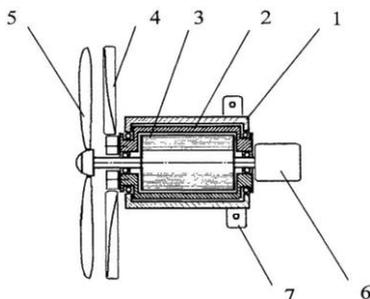


Рисунок 2 – Ветрогенератор горизонтального исполнения

Ветрогенератор с горизонтальной осью вращения (рис. 2) содержит металлический корпус «1» электрогенератора, в котором установлены статор «2» и ротор «3». Статор «2» и ротор «3» электрогенератора

установлены на подшипниках и имеют возможность свободного вращения относительно друг друга и относительно корпуса «1». На выведенном фланцевом соединении статора «2» установлено лопастное колесо «4». На валу ротора «3» установлено лопастное колесо «5». Лопастные колеса «4» и «5» имеют одинаковые диаметры, и их оперение развернуто в разные стороны. На противоположной от лопастных колес «4» и «5» торцевой стороне корпуса «1» размещен токосъемник «6». На корпусе «1» электрогенератора выполнены проушины «7» для крепления ветрогенератора. При конструировании необходимо учесть, что двукратное увеличение к.п.д. возможно только при одинаковых скоростях встречного вращения статора «2» и ротора «3». В свою очередь, за основу берется скорость вращения ротора «3», так как лопастное колесо «5» находится на переднем фронте атаки воздушного потока.

Скорость вращения лопастного колеса «4», расположенного чуть ближе к корпусу «1», отличается от основной по причине различных инерционных характеристики статора «2» и ротора «3» и разных аэродинамических свойств лопастных колес «4» и «5».

Для выравнивания скоростей вращения статора «2» и ротора «3», в процессе конструирования, необходимо учитывать разницу их веса и аэродинамические характеристики лопастных колес «4» и «5».

**Вторая глава** посвящена выбору базы для ветрогенератора, где перечислены их преимущества и недостатки.

Тип генератора	Достоинства	Недостатки
Синхронный генератор	1) Выработка стабильного напряжения 2) Работа с приборами на больших пусковых токах 3) Возможность точно регулировать выходные параметры напряжения и тока 4) Простота в эксплуатации	1) Щеточно-коллекторный узел 2) Возможность перегрузки по току 3) Высокая стоимость
Асинхронных генератор с короткозамкнутым ротором	1) Высокий КПД 2) Дешевизна 3) Надежность 4) Небольшая стоимость 5) Отсутствие щеточно-коллекторного узла	1) В автономной работе понадобится автономный источник реактивной мощности 2) Невозможно управлять режимными параметрами 3) Для возбуждения необходим источник реактивной мощности
Асинхронизированный синхронный генератор	1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами 2) Большая устойчивость	1) Наличие на роторе скользящего контакта 2) При отклонении скорости от синхронной требуется значительное увеличение реактивной мощности и напряжения в обмотке возбуждения 3) Довольно сложная конструкция и система управления

**Третья глава** содержит электромагнитный расчет:

- выбраны марки стали, определены размеры участков магнитной цепи статора и ротора;

- определена форма паза статора, определены параметры обмотки статора (количество витков, слоёв и размеры обмоточного провода), а также линейная нагрузка;

- рассчитаны МДС на всех участках магнитной цепи, а также построена характеристика холостого хода;

- рассчитаны сопротивления обмотки статора, а также определены параметры паза;

- определены параметры магнитной цепи при нагрузке, построены частичные характеристики намагничивания и векторная диаграмма Blondеля;

- рассчитаны геометрические параметры катушки возбуждения, выбран провод, определено сопротивление обмотки и её масса;

- рассчитаны потери в генераторе и посчитан КПД, который имеет хорошее значение;

- построены характеристики машины, определена статическая перегружаемость и отношение короткого замыкания;

- определены превышения температур в различных частях машины, они оказались невелики, что означает что можно повысить нагрузку в машине;

- были рассчитаны расход воздуха и напор вентилятора для охлаждения машины воздуха и напор вентилятора для охлаждения машины;

- посчитана масса машины и определён динамический момент инерции ротора.

**Четвертая глава** посвящена математической модели синхронного генератора.

В среде Matlab/Simulink была разработана имитационная модель ветрогенератора на основе синхронного генератора с электромагнитным возбуждением. Эта модель позволяет изучать ветрогенератор в различных условиях эксплуатации и выявлять оптимальные параметры для его работы. Это важный шаг в развитии ветрогенераторов с электромагнитным возбуждением, поскольку позволяет улучшить их эффективность и надежность в реальных условиях эксплуатации.

Рассмотрим блоки, из которых состоит модель (рис. 3).

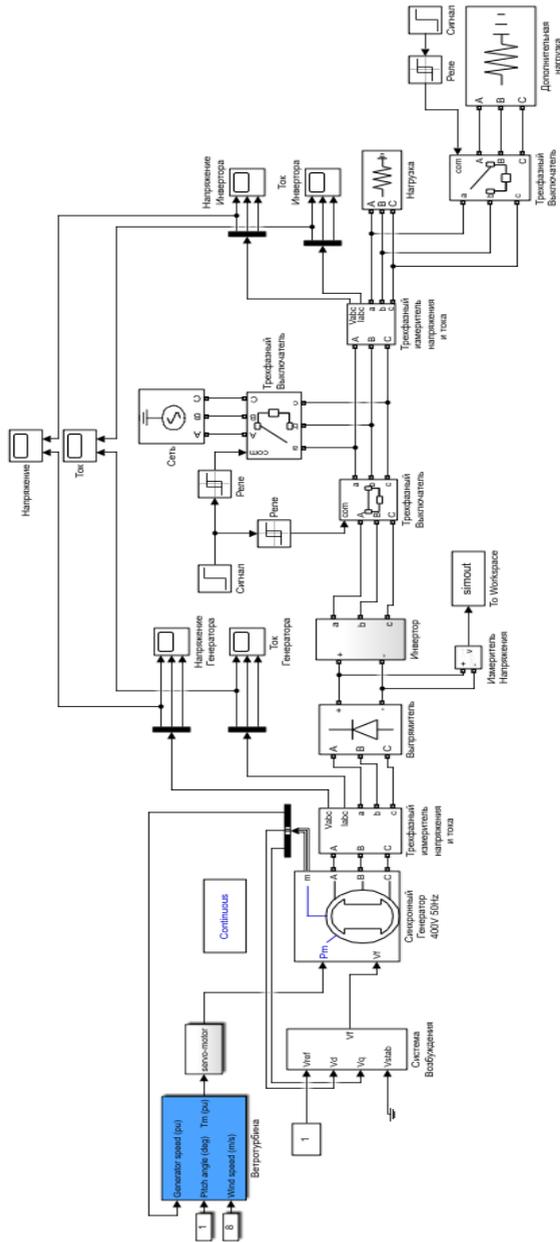


Рисунок 3 – Модель ветрогенератора в системе Matlab/Simulink

Сигнал, пропорциональный подводимой механической мощности к валу генератора от ветротурбины, подается на входной порт  $P_m$ .

Порты А, В и С являются выводами статорной обмотки машины. На выходном порту  $m$  формируется векторный сигнал, состоящий из 16 элементов, токи обмотки статора, угловая частота вращения ротора, электромагнитная мощность и др.

Блок выпрямитель – инвертор выступают в роли преобразователя частоты (ПЧ). Генерируемое переменное напряжение на обмотках статора подается на выпрямитель, преобразуется в постоянное, затем пройдя через инвертор, преобразуется обратно в переменное с постоянной частотой 50 Гц.

ПЧ через трехфазный выключатель непосредственно подключен к нагрузке. Параллельно с ПЧ также через трехфазный выключатель подключено централизованное электроснабжение (блок Сеть). Предполагается что в случае недостатка электроэнергии от промышленной сети для потребителя, произойдет переключение на резервное электроснабжение тем самым обеспечив его бесперебойным питанием. Это наглядно можно увидеть на графике (рис.4).

Математическая модель смоделирована при 8 м/с скорости ветра, тангенс угла наклона (pitch angle) постоянен, так как в более мощных установках он изменяется при помощи датчиков и вспомогательных приводов. Скорость вращения вала увеличивается при помощи редуктора (servomotor). Синхронный генератор подключен к трехфазной нагрузке.

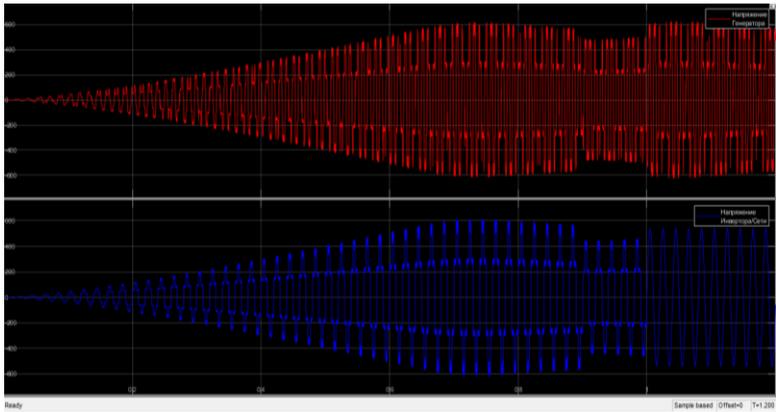


Рисунок 4 – Графики напряжения генератора, инвертора и сети

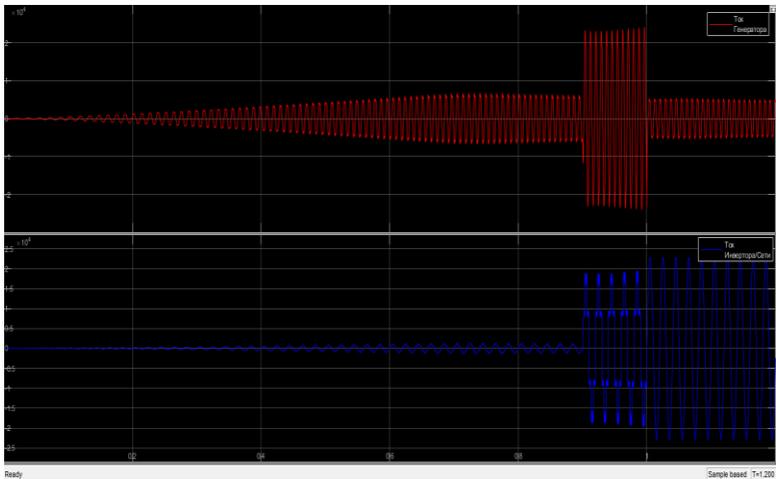


Рисунок 5 – Графики тока генератора, инвертора и сети

По результатам опыта можно сделать вывод, что визуальная математическая модель работает, и может служить для исследования параметров.

**Пятая глава** посвящена безопасности и экологичности проекта. Перечислены нормативные ссылки на законодательные акты и стандарты, общие положения при эксплуатации и техническом обслуживании ВЭУ, требования безопасности при выполнении работ по эксплуатации и

техническому обслуживанию ВЭУ, ВЭС и ВДЭС, а так же техническое обслуживание, ремонт и модернизация.

**Шестая глава** содержит экономический расчет:

- расчет стоимости установки;
- расчёт эксплуатационных расходов;
- сравнительный анализ с ДЭС.

## **Вывод**

Источник резервного электроснабжения важная часть в большом механизме обеспечения потребителя электроэнергией.

Рассмотрен подход к внедрению резервного источника электроснабжения, снижению себестоимости электроэнергии, основанный на использовании комбинированной ветро-сетевой системы. Был разработан генератор для преобразования энергии ветра в электроэнергию с тремя лопастями, имеющими диаметр 4 метра. По результатам моделирования ветроэнергетической установки, система оказалась стабильной и может быть использована в дальнейшем для использования и оптимизации различных параметров.

Ветроэнергетическая установка – экологически чистая система, использующая возобновляемый источник энергии, без вредных выбросов и отходов. Это позволяет сохранить экологию планеты и постепенно отказаться от твердого топлива, загрязняющего окружающую среду. Такой подход может стать значимым шагом к развитию более устойчивой и экологичной энергетической системы.