

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем
электроснабжения
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка интеллектуальной системы управления
ветрогенераторной установкой»

Студент

М.А. Шалюгин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

В.В. Ермаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Исследование в области ветроэнергетике.....	10
1.1 Принцип работы ветрогенератора.....	10
1.1.1 Превосходная скорость ветра.....	10
1.1.2 Хороший дорожный доступ к участкам.....	10
1.1.3 Низкая плотность населения.....	10
1.1.4 Минимальный риск агролесоводческих операций.....	11
1.1.5 Рядом с подходящей электрической сетью.....	11
1.1.6 Поддерживающие землевладельцы.....	11
1.1.7 Хорошая промышленная поддержка для строительства и текущих операций.....	11
1.1.8 Землепользование для выпаса скота и посева.....	11
1.1.9 Типы ветровых турбин.....	12
1.1.10 Ключевые части ветротурбины.....	17
1.1.11 Как работает турбина.....	18
1.1.12 Как турбины собирают максимальную энергию.....	19
1.2 Преимущества и недостатки ветряных турбин.....	20
1.2.1 Недостатки.....	20
1.2.2 Преимущества.....	22
1.3 Работоспособность ветрогенератора при слабом ветре.....	23
1.4 Вывод по разделу I.....	25
2 Разработка способа передачи данных с ветрогенератора на удаленный сервер управления.....	26
2.1 Роль датчиков в ветряных электростанциях.....	26
2.2 Классификация датчиков.....	28
2.2.1 Вихретоковые датчики.....	29
2.2.2 Датчики смещения.....	30
2.2.3 Акселерометры.....	31

2.2.4 Датчик ветра.....	32
2.2.5 Датчики температуры.....	33
2.3 Способы передачи данных на сервер обработки данных.....	35
2.3.1 Передача данных через однокристальные микропроцессоры.....	35
2.3.2 Беспроводной способ передачи данных на сервер.....	36
2.3.3 Характеристики беспроводного прибора AN-420.....	37
2.3.4 Координатор управления беспроводной сети.....	43
2.4 Вывод по разделу II.....	50
3 Разработка алгоритма интеллектуального управления ветрогенераторной установки.....	51
3.1 Классификация алгоритмов.....	51
3.1.1 Алгоритм анализа вибрации.....	51
3.1.2 Алгоритм уровня шума.....	53
3.1.3 Алгоритм скорости вращения.....	54
3.1.4 Алгоритм температуры.....	55
3.1.5 Алгоритм осевого смещения.....	56
3.1.6 Алгоритм, анализирующий скорость ветра и направления для оптимальной работы ветрогенератора.....	57
3.2 Анализ искусственного интеллекта в энергетической отрасли.....	59
3.2.1 Интеллектуальное накопление энергии.....	59
3.2.2 Оптимизация автономных систем.....	60
3.2.3 Создание дополнительных доходов по контракту.....	60
3.2.4 Добавление потоков создания ценности.....	61
3.2.5 Искусственный интеллект, хранение энергии и энергетика: на пути к разумной и устойчивой сети.....	62
3.2.6 Способность искусственного интеллекта интегрировать различные источники энергии, включая хранение.....	63
3.2.7 Гигантская, но чувствительная сеть.....	64

3.2.8 Расширение децентрализованного производства.....	65
3.2.9 Умная сетка с накоплением энергии.....	66
3.2.10 Выигрышная комбинация.....	67
3.3 Вывод по разделу III.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Цель: разработать интеллектуальную систему для снижения затрат на обслуживание ветростанции.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Проанализировать состояние всей ветроэнергетики России и выявить области медленного развития ветростанций.
2. Провести анализ в области беспроводных сетей и выбрать оптимальный вариант, позволяющий грамотно передавать данные с ветрогенератора на сервер удаленного управления.
3. Разработать алгоритмы для анализа и управления ветростанцией.

Новизна работы заключается в разработке уникального способа передачи данных с датчиков на сервер удаленного управления, а так же проектирование алгоритмов отличающихся своей простотой, для управления ветролэлектрической установкой.

Практическая значимость: предложена система мониторинга и диагностики ветрогенератора имеющая относительно низкую стоимость и делает целесообразной минимизировать затраты на обслуживание, а так же дает возможность анализировать ситуации, при которых пришлось бы приостанавливать деятельность добычи электроэнергии, что приводило бы к убыткам.

Методы исследования:

В данной работе были использованы методы математического моделирования на основе программ Simulink, метод статического анализа, применение информационно-аналитических систем для управления энергоэффективностью. А так же проведен сравнительный анализ ветрогенераторных установок.

Объектом исследования является система мониторинга и диагностики ветрогенераторной установки.

Предметом исследования является ветрогенераторная установка мощностью 2МВт.

Развитие ветроэнергетики в России очень медленная, на первое января 2019 года составляет всего 184 МВт, если сравнивать с другими странами, такими как Германия, где к этому времени чуть более 60 ГВт или Китай за 190 ГВт, то сразу навязывается вопрос: «Почему все у нас так плохо?». На самом деле в России много других источников энергии, где окупаемость в разы быстрее, такие как: ТЭЦ, АЭС, ГЭС, но это не возобновляемые источники энергии, для ТЭЦ и АЭС нужно постоянно пополнять топливо, а для ГЭС вообще нужно отчуждать территория для водохранилищ, тем самым нарушать экологию природы, поэтому ветроэнергия хоть и проигрывает в окупаемости, но зато, это один из чистых способов добычи энергии.

Этот вид энергии на стадии планирования и возведения конструкций не из самых дешевых, полная стоимость одного ветрогенератора и проведения всех работ обойдется около 250-300 миллионов рублей, мощностью 2МВт. Сравнивая с другими электростанция, например ТЭЦ мощностью 120МВт обойдется около 18 миллиардов рублей, при сравнении с ветростанцией мощностью 120МВт, стоимость почти одинакова, но ветер это возобновляемый источник энергии и стоимость обслуживания ветростанции можно минимизировать в разы. В этой работе наглядно показано, каким путем можно добиться уменьшения этих затрат.

Решение данной проблемы основано на проектировании алгоритмов, и некоторых компонентов, которые позволяют самостоятельно анализировать и принимать результат для обеспечения надежности и своевременного принятия решения, как на стороне ПО, так и на стороне оператора в случае серьезных неисправностей.

Термин энергия ветра описывает процесс, с помощью которого ветер используется для выработки механической энергии или электричества. Ветровые турбины преобразуют кинетическую энергию ветра в механическую энергию. Эта механическая сила может использоваться для

конкретных задач (например, измельчение зерна или перекачивать воду), или генератор может преобразовать эту механическую энергию в электричество для питания домов, предприятий, школ и тому подобное. В последнее время все больше внимания уделяется производству электроэнергии с использованием энергии ветра по всему миру. Энергия ветра является бесплатным возобновляемым ресурсом, поэтому независимо от того, сколько вы используете сегодня, еще будет такое же предложение в будущем.

Энергия ветра также источник экологически чистого электричества. В отличие от не возобновляемых источников энергии, ветряные установки не выделяют загрязнителей воздуха и парниковых газов. В настоящее время, в различных странах мира проводятся обширные исследования в области ветроэнергетики, в том числе Россия, США, Германия, Испания, Дания, Япония, Южная Корея, Канада, Австралия, Индия. В мире существует несколько организаций, занимающихся исследованиями ветроэнергетики, таких как Global Wind Energy. Совет (GWEC), Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (NREL), и Американская ветроэнергетическая ассоциация (AWEA). По данным GWEC, в отчете около 12% от общего мирового спроса на электроэнергию, может быть обеспечено ветроэнергетикой к 2020 году. Эта цифра указывает на важность исследования энергии ветра в эти дни.

Уголь, нефть и газ, которые используются в качестве топлива для обычных электростанций, постепенно истощаются, поэтому необходима разведка альтернативных источников топлива, то есть возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии. Существуют различные типы возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия и биомасса. Возобновляемая энергия - это использование нетрадиционных источников энергии для производства электроэнергии и транспортных средств на топливе для современных применений в жилых, коммерческих, институциональных и промышленных областях. Это включает в себя системы аварийного

энергоснабжения, транспортные системы, производство электроэнергии на месте, бесперебойное электроснабжение, комбинированные системы, тепло-энергоснабжения, автономные энергосистемы и многие другие инновационные применения[1].

Ветроэнергетика имеет большое преимущество перед обычными видами топлива. Его работа не производит вредных выбросов или каких-либо опасных отходов. Он не истощает природные ресурсы, как это происходит с ископаемым топливом, и не наносит ущерба окружающей среде в результате добычи ресурсов, транспорта и утилизации отходов.

Производство электроэнергии ветряными турбинами зависит от силы ветра в любой данный момент. Участки ветропарка выбираются после тщательного анализа, чтобы определить характер ветра, его относительную силу и направление в разное время дня и года. Таким образом, энергия ветра является переменной, но, не непредсказуемой.

Энергия ветра – это процесс, с помощью которого ветер используется для выработки механической энергии или электрической энергии, и является одной из самых быстрорастущих форм производства электроэнергии в мире. Сила ветра использовалась не менее 3000 лет. До двадцатого века энергия ветра использовалась для механической подачи воды или перемалывания зерна. В начале современной индустриализации использование флуктуирующего источника энергии ветра было заменено двигателями, работающими на ископаемом топливе, или на электрической сети, которая обеспечивала более стабильный источник энергии. Таким образом, использование энергии ветра делится на две части: производство механической энергии и производство электроэнергии.

Ветер – это простой воздух в движении. Это вызвано неравномерным нагревом земной поверхности солнцем. Поскольку земная поверхность состоит из очень разных типов земли и воды, она поглощает солнечное тепло с разной скоростью. В течение дня воздух над землей нагревается быстрее, чем воздух над водой. Теплый воздух над землей расширяется и

поднимается, а более тяжелый и холодный воздух устремляется на его место, создавая ветры. Ночью ветры меняются местами, потому что воздух охлаждается над землей быстрее, чем над водой. Таким же образом создаются большие атмосферные ветры, которые окружают Землю, потому что земля около экватора Земли нагревается больше, чем земля около Северного и Южного полюсов.

Сегодня энергия ветра в основном используется для выработки электроэнергии. Ветер называют возобновляемым источником энергии, потому что ветер будет дуть, пока светит солнце[2][3].

Энергия ветра является чистым, надежным и экономически эффективным источником электроэнергии. Электроэнергия, генерируемая ветром, не способствует глобальному потеплению и кислотным дождям. По сравнению с энергией от атомных электростанций нет риска радиоактивного облучения от энергии ветра.

1 Исследование в области ветроэнергетике

1.1 Принцип работы ветрогенератора

Перед началом изготовления ветротурбины нужно провести большую работу, участок, выбранный для развития ветропарка, должен иметь много положительных качеств, в том числе:

1.1.1 Превосходная скорость ветра

Количество энергии, генерируемой ветротурбиной, пропорционально кубу скорости ветра. Это означает, что увеличение средней скорости ветра с 6 м/с до 7 м/с приводит к увеличению мощности той же турбины на 60% и увеличению годового производства энергии на 36%. Вот почему так важно, что бы ветряные турбины располагались в оптимально высоких местах с воздействием сильнейших ветров.

1.1.2 Хороший дорожный доступ к участкам

Нужно ли строить дорогу на участок?

Какие часы требуются для строительства и эксплуатации?

Существуют ли ограничения доступа к месту, например, он заблокирован в определенные часы?

Есть ли операции на площадке, которые могут помешать строительству?

Есть ли место для площадки, которая, скорее всего, будет состоять из крана, строительных прицепов, мусорных контейнеров, различных грузовиков, бетономешалок, бетононасосов и другого оборудования?

Есть ли на месте доступ к электричеству и воде, или нужен генератор и водоснабжение?

Как работники получают доступ к месту для будущих операций и технического обслуживания? На все эти вопросы должен быть ответ.

1.1.3 Низкая плотность населения

Ветряные электростанции не работают в многолюдных жилых районах, где шумовое загрязнение мешает людям. Они также не работают там, где часто бывают птицы, потому что турбины могут убивать этих, когда они

неосознанно летают рядом с ними. Ветровые турбины и фермы работают лучше в ненаселенных ветреных районах с доступом к электросети.

1.1.4 Минимальный риск агролесоводческих операций

Это может включать, но не ограничивается, такими соображениями, как количество физического пространства, необходимого для массива и оборудования, структурная устойчивость почвы, уклон и его направление на площадке, и близость к соседней точке присоединения.

1.1.5 Рядом с подходящей электрической сетью

Распределительный комплекс электрических сетей России включает сети напряжением от 0,4 до 110 кВ и частично 220 кВ. К основным задачам эксплуатации и проектирования распределительных электрических сетей (РЭС) относят – обеспечение качества электрической энергии, повышение надежности работы оборудования и систем передачи, и распределения электроэнергии, снижение потерь электроэнергии, выбора оборудования при проектировании электрических сетей. В РЭС решение указанных задач осложняется большим количеством элементов сети, частичной неопределенностью и погрешностью данных, что в силу отсутствия мониторинга показателей электроэнергии и необходимого объема измерений приводит к использованию приближенных моделей и методов[3, 12].

1.1.6 Поддерживающие землевладельцы

Важно понимать, что земля не бесплатная и за неё нужно платить. Поэтому очень важно договориться о выгодной покупке земли или о долгосрочной аренде.

1.1.7 Хорошая промышленная поддержка для строительства и текущих операций.

Нужно понимать, что перед строительством этих гигантов, без тяжелой техники не обойтись. Важно знать, можно ли эту тяжелую технику доставить на место строительства[4,5].

1.1.8 Землепользование в основном для выпаса скота и посева.

Ветряные энергетические установки вызывают две разновидности шума:

1. Механический шум, который является результатом работы механических и электрических компонентов (для современных ветроустановок практически отсутствует, но является значительным в ветроустановках старых моделей).

2. Аэродинамический шум, вызванный взаимодействием ветрового потока с лопастями установки (усиливается при прохождении лопасти мимо башни ветроустановки).

Сегодня при определении уровня шума ветроустановок пользуются только расчетными методами. Метод непосредственных измерений уровня шума не дает информации о громкости ветроустановки, поскольку нет эффективных методов отделения шума ветроустановки от шума ветра.

В непосредственной близости от ветрогенератора у оси ветроколеса уровень громкости достаточно большой ветроустановки может превышать 100 дБ.

1.1.9 Типы ветровых турбин

Существует два основных типа ветряных турбин: с горизонтальной осью и с вертикальной осью.

Большинство ветряных турбин имеют горизонтальную ось: конструкция в виде пропеллера с лопастями, которые вращаются вокруг горизонтальной оси. Турбины с горизонтальной осью расположены либо против ветра (ветер касается лопастей перед башней), либо наоборот (ветер ударяет по башне перед лопастями). Турбины против ветра также включают в себя привод рычага и двигатель – компоненты, которые вращают гондолу, чтобы ротор был направлен против ветра при изменении его направления.

Несмотря на то, что существует несколько производителей ветрогенераторов с вертикальной осью, они не достигли рынка коммунальных услуг (мощностью 100 кВт и более) в той же степени, что и

турбины с горизонтальным доступом. Турбины с вертикальной осью делятся на две основные конструкции:

1 Турбины на основе Drag или Savonius, как правило, имеют роторы с твердыми лопастями, которые вращаются вокруг вертикальной оси.

2 Основанные на лифте, или Darrieus, турбины имеют высокий вертикальный стиль аэродинамического профиля (некоторые, кажется, имеют форму яйца). Windspire – тип турбины на лифтовой основе, которая проходит независимые испытания в национальной лаборатории возобновляемой энергии[5].

Основными интересующими параметрами, являются месяц, дата и время сбора данных, средняя скорость ветра, температура, плотность воздуха, высота измерения скорости ветра и т. д.

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) около 20%, рабочий диапазон скоростей ветра обычно от 6м/с, (начало синхронизации с сетью) до 27 м/с (при этом максимальная мощность примерно 13м/с). В настоящее время мощность ветрогенераторов варьируется от 1МВт до 8МВт. В России обычно 2.5МВт.

На высоте 10м при оптимальном положении ветроколеса эффективная мощность потока ветра составляет 300Вт/ на высоте 50м – около 700Вт/.

На рисунке 1.1 изображен ветропарк в Ульяновске, площадка 35МВт (14 установок), всего запланировано 600-700МВт.



Рисунок 1.1 – Ветропарк в Ульяновской области

При проектировании ветряных турбин необходимо учитывать прочность, динамические свойства и усталостные свойства материалов и всего узла. Ветровые турбины созданы для улавливания кинетической энергии ветра. Современные ветряные турбины не построены с большим количеством лопастей ротора. Турбины с большим количеством лопастей или с очень широкими лопастями будут подвергаться воздействию очень больших сил, когда ветер дует с высокой скоростью. Содержание энергии ветра изменяется с третьей степенью скорости ветра. Ветровые турбины построены, чтобы противостоять экстремальным ветрам. Чтобы ограничить влияние экстремальных ветров и дать возможность турбинам вращаться относительно быстро, обычно предпочитают строить турбины с несколькими длинными узкими лопастями.

Усталостные нагрузки (силы): если ветряные турбины находятся в очень турбулентном ветровом климате, они подвержены колебаниям ветра и, следовательно, колебаниям сил. Компоненты ветротурбины, такие, как лопасти ротора с многократным изгибом, могут образовывать трещины,

которые в конечном итоге могут привести к поломке компонента. При проектировании ветряных турбин важно заранее рассчитать, как будут вибрировать различные компоненты, как по отдельности, так и совместно. Также важно рассчитать силы, вовлеченные в каждый изгиб или растяжение компонента (структурная динамика).

Основное преимущество конструкций против ветра заключается в том, что за башней избегают затенения от ветра. Безусловно, подавляющее большинство ветряных турбин имеют форму вентилятора. Ветровые турбины с подветренной стороны имеют ротор, расположенный на подветренной стороне башни.

Количество лопастей: большинство современных ветровых турбин имеют трехлопастную конструкцию, положение ротора поддерживается против ветра с использованием электродвигателей в их рычажном механизме. Преимущества двухлопастных ветродвигателей заключаются в том, что они экономят стоимость лопасти одного ротора и его вес. Тем не менее, они, как правило, испытывают трудности при проникновении на рынок, отчасти потому, что им требуется более высокая скорость вращения для получения одинаковой выработки энергии[6,7].

Механический и аэродинамический шум: шум от ветряных турбин может иметь два различных источника: механический шум и аэродинамический шум. Механический шум возникает из-за того, что металлические детали, движущиеся или стучащие друг о друга, могут возникать в коробке передач, в трансмиссии (в валах) и в генераторе ветряной турбины. Звукоизоляция может быть полезна для минимизации средне и высокочастотного шума. В общем, важно уменьшить проблемы с шумом у источника, в структуре самой машины. Источником аэродинамического звукового излучения является то, что когда ветер поражает различные объекты с определенной скоростью, он обычно начинает издавать звук. Например, лопасти ротора издают слабый свистящий звук при относительно низких скоростях ветра. Тщательный дизайн задних кромок и

очень бережное обращение с лопастями ротора во время их монтажа стали обычной практикой в отрасли[8].

Коммерческие ветряные электростанции построены для выработки электроэнергии для продажи через электрическую сеть. Количество ветряных турбин на ветростанции может сильно варьироваться, варьируя от одной турбины до тысячи. Большие ветряные электростанции обычно состоят из нескольких больших турбин, расположенных на плоской, открытой местности. Небольшие ветряные электростанции, например, с одной или двумя турбинами, часто расположены на гребне или холме. Размеры турбин также могут варьироваться, но, как правило, они находятся в диапазоне от 500 киловатт до нескольких мегаватт, при этом 4,5 мегаватта являются примерно самыми большими. Физически они также могут быть довольно большими, с диаметром ротора от 30 до 120 м и высотой башни от 50 до 100 м. Десять ведущих производителей ветряных турбин, согласно доле мирового рынка в 2017 году, перечислены в таблице 1.

Благодаря прогрессу в производстве и проектировании, крупные турбины становятся все более распространенными. В целом, одна мегаваттная единица может производить достаточно электроэнергии для удовлетворения потребностей примерно 100-200 средних домов. Большая ветряная электростанция со многими турбинами может производить во много раз больше. Однако на всех коммерческих ветряных электростанциях вырабатываемая энергия сначала поступает в местную электрическую сеть электропередачи и не поступает напрямую в конкретные дома.

Таблица 1.1 – Ведущие производители ветротурбин

Рейтинг	Название компаний	Произведено ГВт
1	Vestas	8,7
2	GE	6,5
3	Goldwind	6,4
4	Gamesa	3,7
5	Enercon	3,5
6	Nordex group	2,7
7	Guodin	2,2
8	Siemens	2,1
9	Ming Yang	1,96
9	Envision	1,94

1.1.10 Ключевые части ветротурбины

Турбина является лишь одной из частей внутри этих машин. Для большинства турбин другой ключевой частью является редуктор, чьи шестерни преобразуют относительно медленное вращение лопастей в движение с более высокой скоростью – это позволяет достаточно быстро вращать приводной вал генератора для выработки электроэнергии[9,10].

Генератор является существенной частью всех турбин, и это можно представить, как огромной, в увеличенном масштабе версию динамо на велосипеде. Когда вы едете на велосипеде, динамо, соприкасающееся с задним колесом, вращается и генерирует достаточно электричества, чтобы загорелась лампа. То же самое происходит в ветряной турбине, только лопастной генератор приводится в движение лопастями ротора турбины, а не велосипедным колесом, а лампа – это свет в чьих-то домах. На практике в ветряных турбинах используются генераторы разных типов, которые совсем не похожи на динамо.

1.1.11 Как работает турбина:

1. Ветер – движущийся воздух, который содержит кинетическую энергию, дует к лопастям ротора турбины.
2. Ротор вращается, захватывая часть кинетической энергии ветра и поворачивая центральный приводной вал, который их поддерживает. Хотя внешние края лопастей ротора движутся очень быстро, центральная ось (ведущий вал), к которой они подключены, вращается довольно медленно.
3. В большинстве крупных современных турбин лопасти ротора могут поворачиваться на ступице спереди, чтобы они могли встречаться с ветром под лучшим углом (или «шагом») для сбора энергии. Это называется механизм контроля высоты. На больших турбинах, небольших электродвигателях или гидравлических поршнях вращайте лопасти назад и вперед под точным электронным управлением. На меньших турбинах регулировка шага часто полностью механическая. Тем не менее, многие турбины имеют фиксированные роторы и вообще не контролируют шаг.
4. Внутри гондолы (основная часть турбины, расположенная сверху башни и за лопатками) коробка передач преобразует низкоскоростное вращение приводного вала примерно, 16 оборотов в минуту, об / мин в высокоскоростное примерно, 1600 об / мин. Вращение достаточно быстрое для эффективной работы генератора.
5. Генератор, расположенный непосредственно за редуктором, получает кинетическую энергию от вращающегося приводного вала и превращает ее в электрическую энергию. Работая на максимальной мощности, типовой турбогенератор мощностью 2 МВт будет производить 2 миллиона ватт при мощности около 700 вольт.
6. Анемометры (устройства автоматического измерения скорости) и лопасти ветра на задней части гондолы обеспечивают измерение скорости и направления ветра.
7. Используя эти измерения, вся верхняя часть турбины (ротор и гондола) может вращаться с помощью поворотного двигателя,

установленного между гондолой и башней, так что она обращена непосредственно к встречному ветру и улавливает максимальное количество энергии. Если это слишком ветрено или турбулентно, применяются тормоза, чтобы остановить вращение роторов (по соображениям безопасности). Тормоза также применяются во время текущего обслуживания.

8. Электрический ток, производимый генератором, протекает через кабель, проходящий через внутреннюю часть башни турбины.

9. Повышающий трансформатор преобразует электроэнергию примерно в 50 раз более высокое напряжение, чтобы его можно было эффективно передавать в электросеть (или в близлежащие здания). Если электричество поступает в сеть, оно преобразуется в еще более высокое напряжение подстанцией поблизости, которая обслуживает множество турбин.

10. Дома пользуются чистой, зеленой энергией: при работе турбина не выделяет парниковых газов и не загрязняет окружающую среду.

11. Ветер продолжает дуть мимо турбины, но с меньшей скоростью и энергией (по некоторым причинам описанные ниже) и большей турбулентностью (так как турбина нарушила свой поток).

1.1.12 Как турбины собирают максимальную энергию

Если вы когда-либо стояли под большой ветряной турбиной, вы будете знать, что они абсолютно гигантские и установлены на невероятно высоких башнях. Чем длиннее лопасти ротора, тем больше энергии они могут захватывать от ветра. Гигантские лопасти (обычно 70 м или 230 футов в диаметре, что примерно в 30 раз превышает размах крыльев орла) умножают силу ветра, как колесо и ось, поэтому часто достаточно легкого ветра, чтобы лопасти развернулись. Тем не менее, типичные ветряные турбины простаивают около 14 процентов времени, и большую часть времени они не генерируют максимальную мощность. Однако это не недостаток, а преднамеренная особенность их конструкции, которая позволяет им очень эффективно работать при постоянно меняющихся ветрах. Можно подумать

об этом так. Автомобили не ездят с максимальной скоростью все время: двигатель и коробка автомобиля приводят в движение колеса быстро или медленно, как нам нужно в зависимости от скорости движения. Ветровые турбины аналогичны: как и автомобили, они рассчитаны на эффективную работу на разных скоростях[11,13].

Типичная гондола ветряных турбин находится в 85 метрах от земли – это как 50 высоких взрослых людей, стоящих на плечах друг друга! Для этого есть веская причина. Если посмотреть с холма, который является самой высокой точкой на многие мили вокруг, можно понять, что ветер распространяется гораздо быстрее, когда он очищен от зданий, деревьев, холмов и других препятствий на уровне земли. Таким образом, если поместить лопасти ротора турбины высоко в воздух, они улавливают значительно больше энергии ветра, чем опустить их вниз[14,15,16].

Поскольку лопасти ветротурбины вращаются, они должны обладать кинетической энергией, которую они крадут у ветра. Теперь это основной закон физики (известный как сохранение энергии), что невозможно сделать энергию из ничего, поэтому ветер должен немного замедляться, когда он проходит вокруг ветряной турбины. На самом деле это не проблема, потому что позади обычно намного больше ветра! Это проблема, если нужно построить ветряную электростанцию, где место не находится в очень ветреном месте, нужно убедиться, что каждая турбина находится на достаточном расстоянии от окружающих ее ветротурбин, чтобы они не влияли друг на друга.

1.2 Преимущества и недостатки ветряных турбин

1.2.1 Недостатки

С первого взгляда трудно представить, почему кто-то будет возражать против чистых и экологически чистых ветровых турбин, особенно если сравнивать их с грязными угольными электростанциями и опасными атомными, но у них есть некоторые недостатки.

Одной из характеристик ветряной турбины является то, что она не генерирует столько энергии, сколько обычная угольная, газовая или атомная электростанция. Типичная современная турбина имеет максимальную выходную мощность около 2 мегаватт (МВт), что достаточно для одновременной работы 1000 электрических тостеров мощностью 2 кВт и достаточно для питания около 1000 домов, если она вырабатывает энергию около 30 процентов времени. Крупнейшие в мире оффшорные ветряные турбины теперь могут производить 6–8 мегаватт, поскольку в море ветры сильнее и более устойчивы, а их мощность составляет около 6000 домов. Теоретически, вам понадобится 1000 турбин мощностью 2 МВт, чтобы вырабатывать столько энергии, сколько действительно значительная (2000 МВт или 2 ГВт) угольная электростанция или атомная электростанция (любая из которых может генерировать достаточно энергии для запуска миллиона тостеров мощностью 2 кВт). в то же время); на практике, поскольку уголь и атомные электростанции вырабатывают энергию достаточно стабильно, а энергия ветра – переменная, вам потребуется гораздо больше. (Если хорошая атомная электростанция работает с максимальной мощностью в 90 процентах случаев, а хорошая, совершенно новая, морская ветровая электростанция справляется с такими же 45 процентами времени, вам потребуется вдвое больше ветряных турбин, чтобы компенсировать это.) В конечном счете, энергия ветра является переменной, и эффективная энергосистема нуждается в предсказуемом запасе энергии для удовлетворения меняющегося спроса. На практике это означает, что для этого требуется смесь различных видов энергии, так что подача может быть гарантирована почти на 100 процентов. Некоторые из них будут работать почти непрерывно, например – атомная электростанция. Некоторые будут производить электроэнергию в пиковые периоды времени, например – гидроэлектростанции, некоторые будут увеличивать или уменьшать мощность, которую они вырабатывают в короткие сроки, например –

природный газ, а некоторые будут вырабатывать энергию всякий раз, когда они могут, как ветер[17].

Как тут замечено, не возможно плотно сжать пару тысяч ветряных турбин и ожидать, что они будут работать эффективно. Они должны быть расположены на некотором расстоянии друг от друга (обычно это 3–5 диаметров ротора в направлении встречного ветра, между каждой турбиной и теми, с обеих сторон и 8–10 диаметров в направлении против ветра, между каждой турбиной и теми, которые находятся впереди и сзади). Соедините эти две вещи вместе, и вы получите самый большой и очевидный недостаток энергии ветра: он занимает много места. Если захотеть обеспечить всю страну одним ветром (о чем никто всерьез не говорил), нужно покрыть абсолютно обширную территорию с помощью турбин. Можно еще использовать почти всю землю между турбинами для сельского хозяйства. Типичная ветряная электростанция удаляет менее 5 процентов земли из производства (для турбинных оснований, подъездных путей и сетевых подключений). Вместо этого можно установить турбины в море, но это поднимает другие проблемы и стоит дороже. Даже на суше подключение массивов ветряных турбин к энергосистеме, очевидно, является более серьезным препятствием, чем подключение единой эквивалентной электростанции. Некоторые фермеры и землевладельцы имеют возражения против новых линий электропередач, хотя многие зарабатывают солидную прибыль от сдачи в аренду своей земли (потенциально с гарантированным доходом в течение четверти века), большую часть которой они могут продолжать использовать, как и раньше[18,19].

1.2.2 Преимущества

С другой стороны, ветряные турбины чистые и экологичные, в отличие от угольных станций. Ветростанции не производят выбросы углекислого газа, которые вызывают глобальное потепление, или выбросы диоксида серы, которые могут вызывать кислотные дожди (тип воздуха загрязнение окружающей среды). После того, как эти мельницы постройте, энергия,

которую они производят, будет безграничной и (за исключением запасных частей и обслуживания) бесплатной в течение типичного срока службы 25 лет. Это даже больше преимущества, чем кажется, потому что стоимость эксплуатации обычных электростанций сильно зависит от рискованных вещей, таких как оптовые цены на нефть и газ и волатильность мировых энергетических рынков.

Башни ветряных турбин и гондолы содержат довольно много металла и бетонных фундаментов, чтобы предотвратить их разрушение (обычная турбина имеет в общей сложности 8000 деталей), поэтому их строительство оказывает некоторое воздействие на окружающую среду. Тем не менее, если посмотреть на весь срок их эксплуатации, оказывается, что они имеют одни из самых низких выбросов углекислого газа среди всех видов выработки электроэнергии, значительно ниже, чем у электростанций, работающих на ископаемом топливе, у большинства солнечных установок или у установок на биомассе. Атомные электростанции также имеют относительно низкие выбросы углекислого газа, но у ветряных турбин нет проблем с безопасностью, загрязнением и утилизацией отходов, которые многие люди связывают с ядерной энергией, и их гораздо быстрее и легче построить. Они также намного дешевле, за киловатт-час электроэнергии, которую они производят: половину цены на атомную энергию и две трети цены на уголь (согласно данным 2009 года, приведенным Миллиганом и др.). По данным Глобального совета по ветроэнергетике, турбина может вырабатывать достаточно энергии за 3–6 месяцев, чтобы восстановить энергию, использованную в течение ее срока службы (строительство, эксплуатация и утилизация)[20,21].

1.3 Работоспособность ветрогенератора при слабом ветре

Некоторые люди беспокоятся о том, что, поскольку ветер очень переменный, мы можем внезапно потерять все наше электричество и оказаться в «полной темноте», если мы слишком на него полагаемся.

Реальность ветра совсем другая. «Переменная» не означает ненадежность или непредсказуемость. Где бы вы ни жили, ваша энергия поступает из сложной сети сложно связанных между собой энергоблоков (от гигантских электростанций до отдельных ветряных турбин). Коммунальные компании имеют большой опыт в балансировке электроэнергии, генерируемой во многих различных местах, различными способами, чтобы соответствовать нагрузке (общей потребности в энергии), которая варьируется от часа к часу и от дня к дню. Мощность любой ветряной турбины будет колебаться по мере того, как ветер поднимается и опускается, но общая мощность, производимая тысячами турбин, широко рассредоточенных по всей стране, гораздо более регулярна и предсказуема. Для такой страны, как Великобритания, где-то почти всегда ветрено. Как показал Грэм Синден из Института экологических изменений Оксфордского университета, низкие скорости ветра затрагивают более половины территории страны только в 10% случаев; в 60 процентах случаев только 20 процентов территории Великобритании страдают от низких скоростей ветра; и только в течение одного часа в год 90% Великобритании страдают от низких скоростей. Другими словами, наличие множества ветряных турбин, расположенных в разных местах, гарантирует практически стабильную подачу энергии ветра практически круглый год[22].

Ветер мог бы сыграть большую роль в будущем, если бы мы могли найти экономически эффективные способы хранения электричества, произведенного в ветреные дни, во времена, когда нет или почти нет ветра для сбора урожая. Одна проверенная и проверенная возможность - это насосное хранилище: электричество по низкой цене используется для перекачки огромного количества воды вверх по горе к высокогорному озеру, готового к сливу обратно в гору через гидроэлектрическую турбину в периоды высокого спроса, когда электричество более ценно. По сути, мы храним электричество как гравитационную потенциальную энергию,

которую мы можем делать бесконечно, и возвращаем ее обратно в сеть, когда нам это удобно.

Для легкого представления, с чем предстоит работать, полезно изучить некоторые расчеты коэффициентов:

Если в качестве m взять массу объема воздуха в виде цилиндра единичной площади основания и длины, равной набегающей скорости потока $m=rv$, то получим плотность мощности набегающего потока (мощность, которая приходится на единичную площадку отметаемой площади):

$$W = PV \frac{3}{2}. \quad (1)$$

Плотность воздуха можно вычислить из уравнения состояния идеального газа:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2)$$

отсюда:

$$\rho = \mu \frac{P}{RT}, \quad (3)$$

для стандартных условий: $T=273K$, $P=1$ атмБ, получаем: $\rho = 1,29$ кг/куб.м.

При ударе о препятствие молекулы отскакивают, передавая ему импульс $2mv$. Если в качестве m взять массу объема воздуха в виде цилиндра единичной площади основания и длины, равной набегающей скорости потока ($m=rv$), то получим изменение импульса этого объема воздуха в единицу времени, или силу, действующую на единичную площадку, то есть давление падающего потока[23,24].

1.4 Вывод по разделу I

В первом разделе большое внимание уделено исследованию в области ветроэнергетик. В этом разделе описаны основные аспекты ветрогенераторной станции, какие должны быть условия для работы станции, принцип работы её работы, типы турбин, безопасность, недостатки и достоинства, а так же исследования в области русской ветроэнергетике, и составлен список лидеров разрабатывающих ветрогенераторы, таблица 1.1.

2 Разработка способа передачи данных с ветрогенератора на удаленный сервер управления

Ветровые турбины могут быть такими же высокими, как небоскреб, но они обязаны своей способностью эффективно и безопасно работать десяткам маленьких недорогих датчиков, которые следят за их здоровьем.

На фундаментальном уровне современная ветряная турбина – это ветряная мельница двадцать первого века с большими лопастями ротора, которые превращают бриз в электрическую энергию, а не измельчают зерно или перекачивают воду. Если копать немного глубже, и ветряные турбины показывают себя как шедевры дизайна, объединяя инновации в машиностроении и электротехнике. Несмотря на то, что длина их роторов составляет более 79 м, а высота их башен – более 183 м, некоторые из наиболее важных компонентов это датчики, имеют длину всего в несколько сантиметров, но играют огромную роль в поддержании функционирования этих левиафанов перед лицом чрезвычайных напряжений, вибрации и различные другие опасности[25,26].

2.1 Роль датчиков в ветряных электростанциях

Без датчиков ветряные турбины, вероятно, были бы менее безопасными, более дорогостоящими в эксплуатации, неспособными точно прогнозировать и устранять надвигающиеся сбои, или потенциально могли бы иметь срок службы менее двадцати пяти лет, которые они должны эксплуатировать. Самое главное, ветряные электростанции нуждаются в точных данных о каждой турбине и ее наиболее важных компонентах, которые могут быть предоставлены только датчиками, соединенными вместе и подключенными к командному центру.

Более того, ветряные турбины являются классическим (если не оригинальным) примером промышленного IoT в действии: в них есть все необходимые компоненты от датчиков до сетей. Сеть IoT ветропарка может использоваться для передачи рабочих данных на большие расстояния, таких как скорость ветра, мощность, углы поворота, температура редуктора и

другие показатели, для проведения анализа всех полученных данных, со всего ветропарка. Исходя из этого, операторы могут создать модель, которая может предсказать, какие компоненты возобновляемого источника энергии нужно проверять и когда стоит это делать. Всю информацию, а также оповещения о состоянии ветрогенератора и другие результаты мониторинга можно просматривать со смартфона, а так же управлять ветростанцией удаленно, планшета или компьютера[27].

Чтобы понять, почему эти датчики так важны, рассмотрим ветряную турбину и все места внутри нее, где они могут использоваться для контроля всех компонентов системы, включая саму конструкцию рисунок 2.1. Ветровые турбины являются сложными и, как правило, имеют более 8000 компонентов. Их огромные лезвия и конструкции башен привязаны к платформам, изготовленные из тысяч тонн стали, и арматуре длиной от 15 до 30 м и глубиной от 6 до 10 м, если ветротурбины стоят в море.

Редуктор, который преобразует медленную скорость вращения лопастей в более высокую скорость вращения ротора (вместе с генератором), размещается в контейнере на башне, называемой гондолой, размером с длинный автобус и весит около 45 т (тонн). Некоторые гондолы достаточно большие, чтобы в них можно было установить посадочную площадку для вертолета, а вся платформа для ветряных турбин может весить более 272 т.

А: датчик утечки масла, фильтр на маслоуказателе, датчик температуры масла, предохранительная муфта;

В: датчик вибрации;

С: датчик шумов.

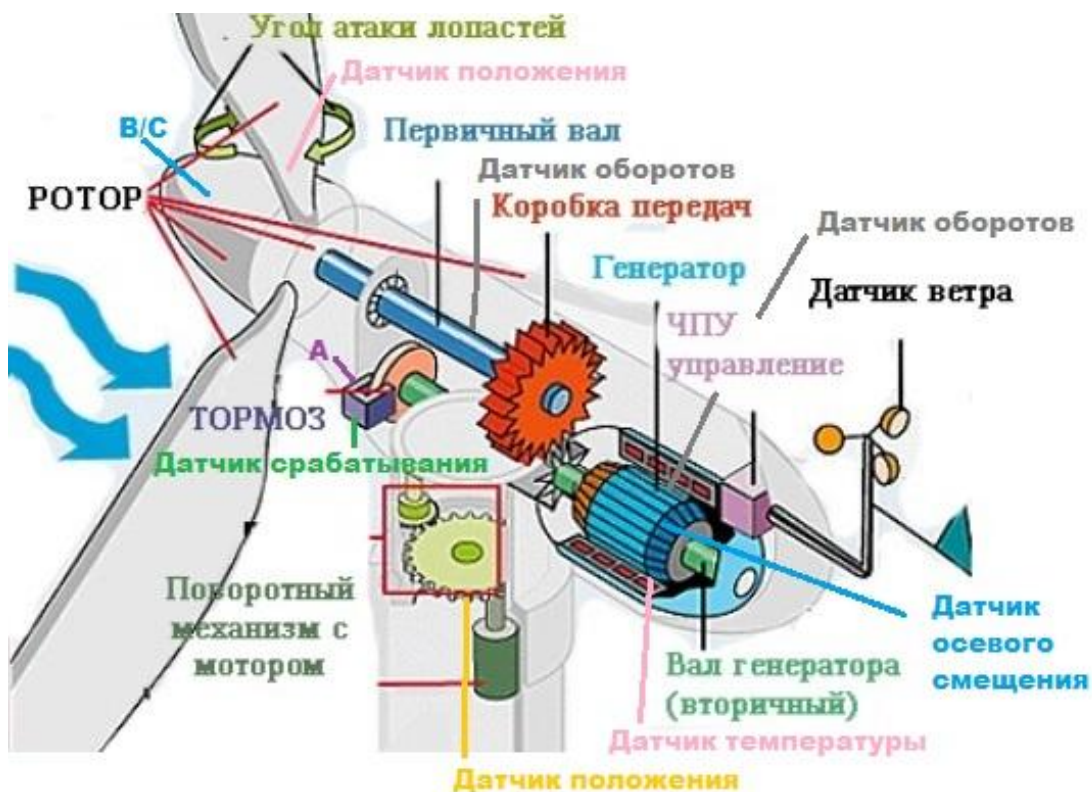


Рисунок 2.1 – Расположения основных компонентов ветрогенератора

Для справки: ветряная турбина с обычным приводом самой большой мощности в настоящее время – это Vestas 164 от Vestas Wind Systems, мощность, которой составляет до 9 МВт. Она генерирует с помощью своего 178-метрового ротора с общей площадью 20 566 м² и весом 32 т. Высота конструкции составляет 219 метров (примерно высота 72-этажного здания), а ее общий вес превышает 1800 тонн.

2.2 Классификация датчиков

Существует много различных типов электрических и оптических датчиков, используемых в ветряных турбинах. Они могут:

- Обнаруживать изменение расстояния между двумя компонентами, проводить мониторинг и передавать информации, с помощью преобразователей сигнала;
- Контролировать уровень вибрации, который, если чрезмерный, может привести к серьезным повреждениям;

- Мониторинг изменений температуры, давления и механических напряжений.

2.2.1 Вихретоковые датчики

Одним из наиболее распространенных типов датчиков в ветряных турбинах являются вихретоковые датчики, также называемые токами Фуко, которые обнаруживают изменения электрического тока, создаваемого при попадании проводящего материала в движущееся магнитное поле[28,29].

В ветряных турбинах вихретоковые датчики измеряют смазочный зазор вала, чтобы убедиться, что он всегда покрыт тонкой масляной пленкой, которая обычно наносится под давлением. Поскольку эти датчики могут противостоять маслам и давлению, а также температуре, они могут надежно контролировать масляный зазор в этих неблагоприятных условиях. Если зазор становится слишком большим и превышает его технические характеристики, может быть отправлено предупреждение, чтобы профилактическое обслуживание могло быть выполнено до того, как вал разрушится или заклинит[30,31].

Эти датчики также измеряют вращение вала турбины, как в осевом, так и в радиальном направлении внутри своего корпуса, что называется спецификацией биения. Радиально это условие заставляет вал вращаться не по центру, а не «истинно», и приводит к осевому вращению вала под небольшим углом. В то время как всегда имеется небольшое количество биения, изношенные подшипники могут привести к тому, что он превысит допустимые пределы, а когда он слишком высокий, как правило, из-за сильных ветровых нагрузок, турбина должна быть остановлена для технического обслуживания. Очевидно, что способность контролировать, позволяет выполнять это обслуживание до того, как произойдет какое-либо повреждение или даже катастрофический отказ.

Наконец, вихретоковые датчики также используются для измерения эффектов поворота (моментов или крутящего момента), применяемых к гондоле – вызванных вибрацией, ветровыми нагрузками или другими

факторами – которые со временем могут привести к ухудшению целостности конструкции. Они могут применяться для измерения осевого, радиального или тангенциального прогиба дисков сцепления, которые обеспечивают безопасность ротора при торможении при сильном ветре.



Рисунок 2.2 – Вихретоковой датчик

2.2.2 Датчики смещения

Различные датчики смещения также используются для контроля целостности конструкции. Фундаменты или платформы, необходимые для удержания ветряных турбин на месте, состоят из огромного количества бетона. Однако, поскольку башни очень высокие, а роторы и гондолы, в которых размещен генератор, огромны, вся конструкция эффективно загружается сверху, поэтому очень важно следить за целостностью системы на ее основании.

Лазерные датчики смещения могут использоваться для выполнения этой функции, потому что они могут обнаруживать очень небольшие движения фундамента относительно башни, вызванные многократными ударами ветра или волн или вызванные в результате структурными дефектами. Лазерные датчики перемещения работают, передавая луч света в оптический приемник на некотором расстоянии. Отклонения и движение между ними преобразуются в единицы расстояния. Лазерные триангуляционные датчики также используются для аналогичной цели и имеют сенсор, передатчик и приемник в треугольнике. Поскольку эти

устройства чрезвычайно точны, они могут обнаруживать очень небольшие изменения, поэтому можно обрабатывать данные, чтобы показать, развивается ли проблема и насколько быстро она прогрессирует.

Другой прецизионный датчик смещения – емкостный тип – измеряет расстояние между статором и ротором в турбине, называемый воздушным зазором генератора. Их работа основана на принципе, что электрическая емкость существует между проводящими поверхностями рядом друг с другом и, что емкость будет изменяться прямо пропорционально расстоянию между поверхностями. Эти датчики измеряют эти изменения и могут работать в условиях высокой температуры и сильных электромагнитных полей.

Датчики перемещения тросовой проволоки объединяют подпружиненную проволоку, намотанную на катушечный преобразователь. Поскольку провод может быть довольно длинным, датчики с тросом имеют возможность измерять изменения расстояния, когда датчик расположен далеко от движущегося объекта. Когда провод вытягивается или отводится от катушки, вращение катушки измеряется, а затем преобразуется в меру изменения электрического сигнала. В ветряных турбинах они измеряют воздушный поток, определяя положение воздушных заслонок.

Датчики с тросом также могут использоваться с различными вращательными датчиками в зависимости от применения, такими как потенциометры, датчики Холла и аналоговые или цифровые бесконтактные датчики. Bourne AMS22B5A1BHASL334N бесконтактная аналогового датчика роторный, например, использует магнитную технологию и устойчив к ударам, вибрации, жидкостей и пыли, и может работать в температурном диапазоне от -40 градусов C до 125 градусов C. Он имеет 12– разрешение на выходе битов и линейность $\pm 0,3$ процента[25,30].

2.2.3 Акселерометры

Акселерометры, которые измеряют изменения скорости или ускорения, используются в ветряных турбинах для обнаружения и контроля вибрации в

основных, поворотных подшипниках, а также в других вращающихся компонентах, таких как выходные валы главного генератора. Собранные данные о вибрации можно использовать для отслеживания изменений во времени и прогнозирования возможных отказов.

МЭМС-акселерометры Analog Devices ADXL1001 и ADXL1002 являются хорошими примерами, поскольку они измеряют вибрацию с высоким разрешением и низкой плотностью шума во времени. Их характеристики чувствительности очень стабильны, и они невосприимчивы к ударам до 10000 мкс². Устройства также имеют встроенные функции самодиагностики и индикатор превышения диапазона, и они работают в диапазоне частот от -40° C до +125° C.



Рисунок 2.3 – Акселерометр

2.2.4 Датчик ветра

Датчики ветра установлены на верхней части гондолы и являются механическими или ультразвуковыми. Поскольку ультразвуковые типы не нуждаются в повторной калибровке, они все чаще используются в областях, где техническое обслуживание затруднено. Ультразвуковые датчики измеряют расстояние до объекта с помощью звуковых волн, посылая очень низкочастотную звуковую волну и обнаруживая волну после ее отражения

целевым объектом. Записав прошедшее время между генерацией звука и его возвратом, можно рассчитать расстояние между датчиком и объектом[36,37]. PGA460-Q1 Texas Instruments PGA460 процессор ультразвуковых сигналов, использует аналоговый внешний интерфейс , состоящий из усилителя с низким уровнем шума и программируемым каскадным усилением, который посылает выходной сигнал к аналого-цифровому преобразователю. Оцифрованный сигнал затем обрабатывается для обнаружения объектов ближнего и дальнего полей с использованием изменяющихся во времени пороговых значений.



Рисунок 2.4 – Датчик ветра

2.2.5 Датчики температуры

Датчики температуры также используются в местах, где повышение температуры свидетельствует о перегреве какого-либо компонента подсистемы, измеряют температуру от -200°C до $+600^{\circ}\text{C}$ и имеют датчики температуры, которые используют тонкопленочные резисторы в качестве чувствительного элемента. Они очень маленькие и легкие, работают с течением времени и имеют низкую постоянную времени для быстрой обратной связи.



Рисунок 2.5 – Датчик температуры

Все это, как говорится, разумный вопрос может быть: если датчики так важны для производительности и безопасности ветряных турбин, что произойдет, если сами датчики выходят из строя? Ответ заключается в том, что в некоторых местах используются несколько датчиков, вторые в качестве резервной, которые могут быть включены, потенциально автономно, при выходе из строя первого. В дополнение к этому подходу к резервному копированию необходимо указывать датчики, используемые в ветряных электростанциях (а также в других энергетических системах), для удовлетворения таких требований, как широкий диапазон рабочих температур, сертификация по IP67 или IP68 для защиты от пыли и воды, а иногда и повышенной прочности корпусов.

Как и у любого типа развивающейся технологии, создание энергии из ветра имело свои хорошие и плохие дни, и некоторые из последних возникли в результате отказа одного электрического компонента, а не в результате поломки массивного генератора или лопасти турбины. Датчики играют важную роль в снижении вероятности таких случаев, как и во всех промышленных приложениях. Вихретоковые датчики и датчики перемещения, акселерометры, датчики ветра и температуры являются ключом к мониторингу турбин и передаче информации о потенциале и необходимом техническом обслуживании. По этой причине в будущем они, вероятно, будут использоваться в еще большем количестве мест на этих

гигантских машинах, поскольку нетрудно обосновать использование детали стоимостью 10 долл. США для защиты дорогостоящей турбинной лопатки от катастрофического отказа.

Для того чтобы получать данные с датчиков и их обрабатывать есть несколько способов.

2.3 Способы передачи данных на сервер обработки данных

2.3.1 Передача данных через однокристальные микропроцессоры

Первый, это подключение датчиков к аналогово цифровому преобразователю. АЦП со сложной цифровой частью привело к тому, что сейчас имеются законченные однокристальные системы сбора данных, обеспечивающие преобразование в цифровой код сигналов, поступающих от многих датчиков и передачу их на микроЭВМ. Блок-схема развитой системы сбора данных приведена на рисунке 2.6.

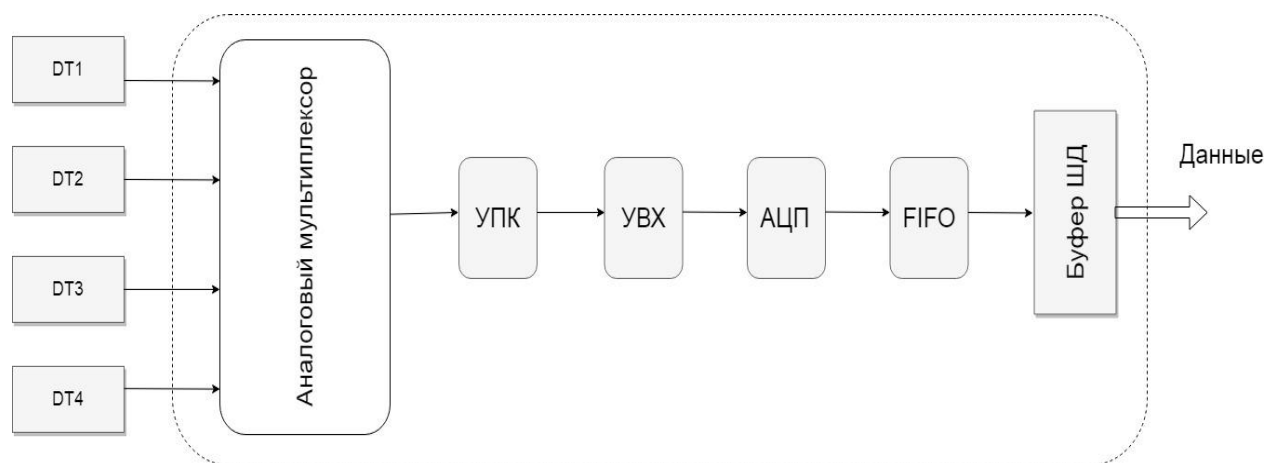


Рисунок 2.6 – Блок-схема система сбора данных

УПК – усилитель с программируемым коэффициентом усиления; УВХ – устройство выборки-хранения; ШД – шина данных

Основу системы составляет АЦП, обычно АЦП последовательного приближения. Чтобы уменьшить число корпусов ИМС, необходимых для создания системы сбора данных, в схему встроены УВХ и источник опорного напряжения. Для подключения к нескольким источникам входных аналоговых сигналов используется аналоговый мультиплексор. Чтобы сократить частоту прерываний главного процессора, некоторые системы

сбора данных снабжаются оперативным запоминающим устройством обратного магазинного типа FIFO – first input – first output (первый вошел - первый вышел). Измерительный усилитель УПК, входящий в систему, меняет свой коэффициент усиления по команде от схемы управления. Это позволяет выровнять диапазоны аналоговых сигналов с различных входов[35].

2.3.2 Беспроводной способ передачи данных на сервер

Второй, это подключение датчиков к беспроводной системе сбора данных AN-420. BeanDevice 2,4 ГГц AN-420 - это беспроводной регистратор данных с входами токовой петли 4-20 мА. Особое внимание уделяется конструкции аналогового формирователя сигналов с точностью $\pm 0,08\%$ (FS) и динамическим диапазоном 16 бит. Датчик питается напрямую от высокоточного и регулируемого преобразователя постоянного тока, встроенного в устройство. Напряжение возбуждения настраивается дистанционно с помощью BeanScape 2,4 ГГц (от 4,5 до 20 В).

Характеризуется водонепроницаемым (IP65) и небольшим (146,05 x 65,5 мм x 33,5 мм) алюминиевым корпусом, сверхнизким энергопотреблением (30 мкА в спящем режиме), встроенным регистратором данных, который может хранить до 1 миллиона журналов данных, как это беспроводное устройство с максимальным радиусом действия в 1 километр хорошо подходит для всех типов промышленного применения.

В то время как подавляющее большинство беспроводных датчиков демонстрируют свои пределы в жестких промышленных условиях, в BeanDevice 2,4 ГГц AN-420 реализована инновационная конструкция разнесенной антенны, повышающая качество радиолинии в средах, подверженных случайным и разнородным помехам. Разнесение антенн повышает качество и надежность беспроводной линии связи на 30%.

Функция TimeSync позволяет достичь временной синхронизации $\pm 2,5$ мс по беспроводным сенсорным сетям. Это способствует улучшению взаимодействия пользователей с данными и модальным анализом.

2.3.3 Характеристики беспроводного прибора AN-420

Пользователи, которым нужна быстрая и простая интеграция со сторонним программным обеспечением, могут выбирать между протоколом ModBus TCP / RTU / ASCII, доступным на BeanGateway 2,4 ГГц, или OPC DA, доступным на BeanScape 2,4 ГГц.

BeanDevice 2,4 ГГц AN-420 подходит для следующих применений:

- Удаленное наблюдение
- Встроенное испытательное оборудование
- Контроль состояния
- Структурный мониторинг

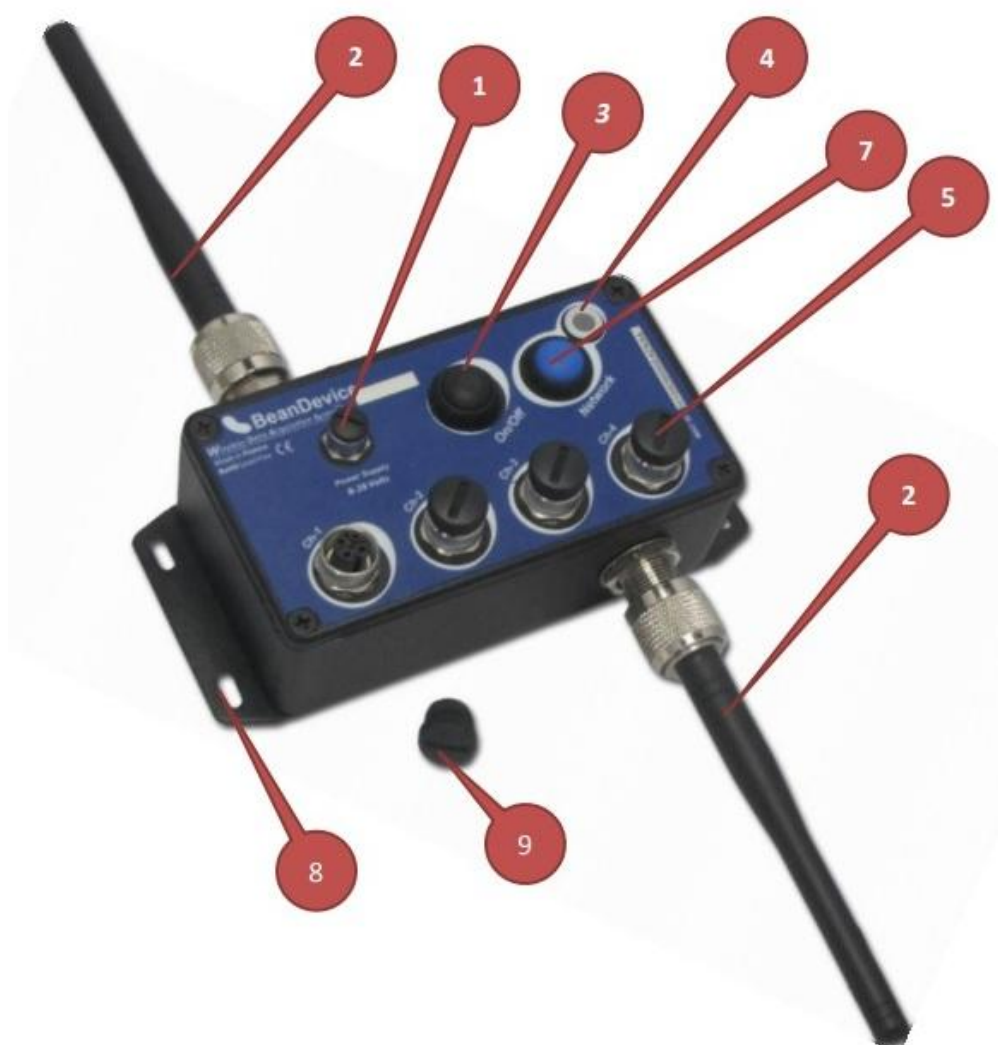


Рисунок 2.7 – Беспроводная система сбора данных AN-420

Таблица 2.1 – Спецификация беспроводной системы передачи данных

№	Функции	Описание
1	М8-3 Гнездо для подключения источника питания	Источник постоянного напряжения 8-28 В. Герметизация розетки обеспечивается винтовой крышкой
2	Радио антенна	2 антенны N-типа для беспроводной сети, водонепроницаемые IP67
3	Кнопка включения / выключения	Позволяет включать / выключать BeanDevice ON: кнопка нажата; OFF: кнопка не нажата; Нужно нажать на кнопку 5 секунд для включения BeanDevice. Включает в себя энергетическое пространство, позволяющий сделать резервную копию контекста WSN перед отключением питания.
4	Информация об активности работы	Двухцветный светодиод. Красный и зеленый.
5	М12-5 штырьковый разъем для подключения датчика	Этот разъем совместим со штепсельной вилкой для M12-5.
6	Версии продукта	Доступны три версии продукта: AN-420: измерение токовой петли 4-20 мА AN-V: +/- 5В или аналоговое измерение +/- 10В AN-mV: +/- 20 мВ или +/- 40 мВ аналоговое измерение низкого напряжения

Продолжение таблицы 2.1

7	Кнопка сетевого контекста	Чтобы восстановить заводские/стандартные параметры, необходимо выполнить удаление сетевого контекста. Нужно нажать на кнопку («Сеть») более 2 секунд.
8	Ушко для настенного монтажа	BeanDevice поставляется с комплектом для настенного монтажа.
9	Крышка гнезда M12	Внешняя защита

Таблица 2.2 – Характеристики аналогового входа

Входной сигнал	Аналоговый, по току
Количество каналов	2 или 4 канала
АЦП	16-бит, SAR архитектура (Successive Approximation Register) с температурной компенсацией
Диапазон измерений	4-20 мА
Нелинейность	$\pm 0,5$ LSB
Точность измерений	< 0,1% со внешним источником питания < 0,08% с питанием от батареи
Подключение датчика	5-пиновый коннектор M12, степень защиты IP67

Продолжение таблицы 2.2

Режим сбора данных	Низкочастотный режим: от 1сек до 24 часов Пороговый (тревожный) режим: от 1сек до 24 часов Математический режим: 400 SPS максимум Пакетный режим: 400 SPS максимум Потоковый режим: 100 SPS максимум
Частота дискретизации	Минимум: 1 SPS Максимум: 400 SPS максимум на каждый канал
Пороги тревоги	2 верхних, 2 нижних
Питание датчика	от 4.5 до 20 Вольт
Режим питания	Спящий, Спящий с опросом сети, Активный
TX мощность	-7 dBm / -1 dBm / 5 dBm / 11 dBm / 15 dBm / 18 dBm

Таблица 2.3 – Параметры беспроводной конфигурации

Стэк беспроводного протокола	IEEE 802.15.4 (версия 2006)
Топология беспроводной сети	Точка-точка / Звезда
Шифрование	AES 128 bits (AES интегрированный сопроцессор)
Скорость передачи данных	250 Кбит/с

Продолжение таблицы 2.3

Радиочастотные характеристики	ISM 2.4ГГц - 16 каналов. Специальная антенна, разработка BeanAir®
TX мощность	от +0 dBm до +18 dBm
Чувствительность приемника	от -95,5 dBm до -104 dBm
Максимальный диапазон действия радиосигнала	1 км (прямая видимость)
Антенна	Пространственное разнесение антенн: 2 всенаправленные антенны N-типа с усилением 2,2 dBi степень защиты IP67

Таблица 2.4 – Радиочастотные характеристики

Встроенный регистратор	Емкость памяти: до 1 000 000 измерений Интегрированные часы реального времени 400 000 циклов перезаписи
Интегрированный аккумулятор	Интегрированный Li-Ion аккумулятор с высокоточным мониторингом состояния батареи: Защита от перегрузки по напряжению, по току, от короткого замыкания, пониженного напряжения Измерение температуры батареи Измерение тока заряда

Продолжение таблицы 2.4

Потребление тока	Режим сбора данных: 20 до 30 мА Режим передачи данных: 40 мА, 0dBm; 70мА, 18dBm Режим ожидания: < 45 uA
Рабочая температура	от -20 °С до +75 °С – Интегрированный датчик температуры (разрешение 0.125°С)
Корпус	Алюминий, Водонепроницаемый IP65 – Защита от огня: ULV94/Getex Размеры без антенны ДхШхВ: 146.05 мм x 65.5 мм x 33.5 мм
Ударопрочность	10g в течение 50 мс
Нормативы	CE сертификат R&TTE (радио)ETSI EN 300 328 ROHS - инструкция 2002/95/EC
Внешний источник питания	Внешний источник питания: от +8В до +28 В
Батарея/Перезаряжаемый аккумулятор	Li-Ion перезаряжаемый аккумулятор емкостью 1250mAh (обозначение BAT1.3DMG)
Блок питания (опция)	Настенный, Многорежимный источник питания 12В, 1,25А с разъёмом M8 (степень защиты IP67)
Монтажные приспособления	Крепление на DIN-рейку

2.3.4 Координатор управления беспроводной сети

Координатор WSN Ethernet 2,4 ГГц, показанный на рисунке 2.8 используется для построения и управления беспроводной сенсорной сетью Beanair. Он может управлять очередями для каждого элемента сети BeanDevice 2,4 ГГц. В качестве шлюза он контролирует внешний доступ к сети с помощью процедуры высокочастотной аутентификации. Он поддерживает преобразование обмениваемых данных, сжатие и IP-соединение с сетью, тем самым снижая обслуживание и, следовательно, связанные с этим затраты.



Рисунок 2.8 – Координатор WSN Ethernet

Координатор WSN Ethernet 2,4 ГГц работает от внешнего источника питания (8–28 В постоянного напряжения). В качестве батареи ИБП используется встроенная аккумуляторная батарея (источник бесперебойного питания). Внутренняя батарея обеспечивает мгновенную защиту от перебоев с внешним источником питания, в течение этого времени поддерживаются беспроводные сенсорные сети и локальные сети Ethernet.

Так же присутствует:

- Автоматическое резервное копирование как на флэш-память, так и на программное обеспечение BeanScape 2,4 ГГц.

- Функция экспорта / импорта на других BeanGateway 2,4 ГГц

Таблица 2.5 – Основные характеристики

Потребление тока	110 uA в режиме ожидания
Встроенная файловая система	Все пользовательские данные хранятся во внешней памяти (технология Micro-SD): Хранение измерений для беспроводной сенсорной сети (сетевая конфигурация, измерения, уведомления о неисправностях ...) Максимальный объем памяти - 2Gb Сохранение данных в формате CSV (для экспорта данных в Excel и Access)
Внешний источник питания	от +9 В до +28 В, интегрированное зарядное устройство для Li-Ion аккумуляторов с высокоточным мониторингом заряда
Блок питания	Настенный, Многорежимный источник питания 12В6 1,25А
Рабочая температура	от -20 °C до +75 °C - Интегрированный датчик температуры (разрешение 0.125°C)
Корпус	Версия для размещения в помещении: Поликарбонат, Защита от огня ULV94/Getex. Снабжен креплениями на DIN рейку и на стену, Вес: 500г, Размеры (Д x Ш x В): 225 мм x 85 мм x 68 мм

Продолжение таблицы 2.5

	Версия для размещения снаружи: Водонепроницаемый (IP65) прочный алюминиевый корпус (толщина 5 мм), Вес: 900г, Размеры (Д x Ш x В): 200 мм x 140 мм x 43 мм
Нормативы	CE сертификат R&TTE (радио)ETSI EN 300 328 ROHS - инструкция 2002/95/EC, FCC Part 15 Japan ARIB STD-T66
Аккумулятор	Li-Ion аккумулятор емкостью 1.3 Ач (обозначение BAT1.3DMG) В случае сбоя внешнего источника питания BeanGateway переключается на работу от аккумулятора.

Таблица 2.6 – Радиочастотные характеристики

Стэк беспроводного протокола	IEEE 802.15.4 (версия 2006)
Топология беспроводной сети	Точка-точка / Звезда
Шифрование	AES 128 бит (встроенный со-процессор AES)
Скорость передачи данных	256 Кбит/с
Радиочастотные характеристики	ISM 2.4ГГц – 16 Каналов.

Продолжение таблицы 2.6

Мощность радиопередатчика	Настраиваемая мощность передачи: от +0,5dBm до +20 dBm (ограничено до 12 dBm в версии для размещения в помещении)
TX мощность	от +0 dBm до +18 dBm
Чувствительность приемника	от -95,5 dBm до -101 dBm
Максимальный диапазон действия радиосигнала	от 70 м до 1 км (прямая видимость)
Антенна	Антенна с большим усилением 5,5 dBi коэффициент стоячей волны (VSWR): 1.5 :1 Коннектор: RPSMA (размещение внутри помещения) или N-Type (размещение снаружи)

Таблица 2.7 – Сеть Ethernet/LAN

Сетевой/Транспортный протокол	Ethernet: Клиент TCP/IP, UDP, DNS, DHCP
Протокол передачи данных	Ethernet / Fast Ethernet с технологией Auto Uplink (MDI/MDI-X auto) IEEE 802.3x
Присвоение IP-адреса	Динамическое (DHCP) или статическое
Интерфейс настройки IP (через RS232)	Предоставлена возможность настройки параметров DNS и DHCP с помощью BeanScape.

Беспроводные сенсорные сети приобретают все большую популярность в качестве гибкой и экономичной альтернативы полевым шинам для приложений мониторинга и управления. Для критически важных приложений сети связи должны обеспечивать сквозные гарантии надежности, что создает серьезные проблемы для беспроводной сенсорной сети. Надежность может быть улучшена за счет избыточности, и она часто решается на уровне управления доступом к среде путем повторной отправки потерянных пакетов, обычно применяя временное планирование. Недавно исследователи предложили стратегию, позволяющую оптимально повысить надежность данного расписания, повторяя самые полезные временные интервалы в расписании постепенно до крайнего срока. Этот инкрементатор может использоваться с большинством алгоритмов планирования, но имеет проблемы с масштабируемостью, которая служит его применимость к автономным вычислениям расписаний для сетей, которые довольно статичны[34,37].

Беспроводная связь была продвинута как гибкая альтернатива проводной полевой шине, и поэтому она продвигается на промышленный рынок, расширяя тем самым область применения от более базовых приложений для сбора информации автономного анализа данных, до получения большего количества и большей ответственности за контроль действия. Проблема с беспроводными сетями заключается в том, что они используют коммуникационную среду, которая по своей природе открыта и уязвима для помех, так что управление доступом к среде автономного анализа данных играет жизненно важную роль для обеспечения конечного результата. Два промышленных стандартов беспроводной связи, которые занимают наибольшую долю рынка, это Wireless и, ISA 100.11a, следуют централизованному подходу с международной центральной сетью, отвечающим за конфигурацию планирования. Wireless принимает уровень IEEE 802.15.4, и автономного анализа данных должен соответствовать стандарту IEEE 802.15.4. Для повышения надежности Wireless использует

множественный доступ с разделением по времени и автоматический повтор-запрос, но оставляет большую часть специфики и реализации алгоритма планирования поставщику. Бесконфликтные протоколы предпочтительнее протоколов, основанных на конкуренции, таких как множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением, потому что доставка пакетов более предсказуема, а энергию можно легче экономить (например, путем циклического использования).

Большая часть исследований по планированию на уровне автономного анализа данных, которые проводились, предполагают в сетевой модели, что доставка пакетов определена. Основная задача в этом предположении состоит в том, чтобы идентифицировать как можно более короткий бесконфликтный кадр расписания, который позволяет всем датчикам передавать свои пакеты на набор приемников или шлюзов с прямыми и надежными соединениями с администратором сети. С жесткими ограничениями на задержку и надежность в сети, сложность решаемых задач планирования резко возрастает, а обзор современного состояния объявляет объединенную сквозную гарантию качества обслуживания повторного запроса, такие особенности, как надежность и задержка.

В системах связи сквозная надежность обычно определяется как сквозная вероятность того, что все переданные пакеты достигнут своего пункта назначения до того, как будет достигнут общий крайний срок или до того, как будут достигнуты несколько отдельных крайних сроков. Для многих промышленных применений гарантии надежности являются фиксированным ограничением. Граница задержки не имеет значения, если она не поддерживается на определенном уровне надежности, а потерянные пакеты или пропущенные сроки означают серьезные последствия для многих приложений промышленного управления. Алгоритмы планирования в литературе лишены способности гарантировать надежность в процессе создания расписания. Повышение надежности может быть достигнуто за счет избыточности. Избыточность может быть реализована на разных уровнях и

может быть представлена, например, в виде избыточного содержимого пакета и кодов исправления ошибок (физический уровень), повторных передач (уровень автономного анализа данных), установки ретрансляторов для улучшения связности или одновременной передачи пакетов. по нескольким путям. Каждое средство повышения надежности имеет свои предостережения, включая повышенные затраты, усилия по обслуживанию или задержку пакетов.

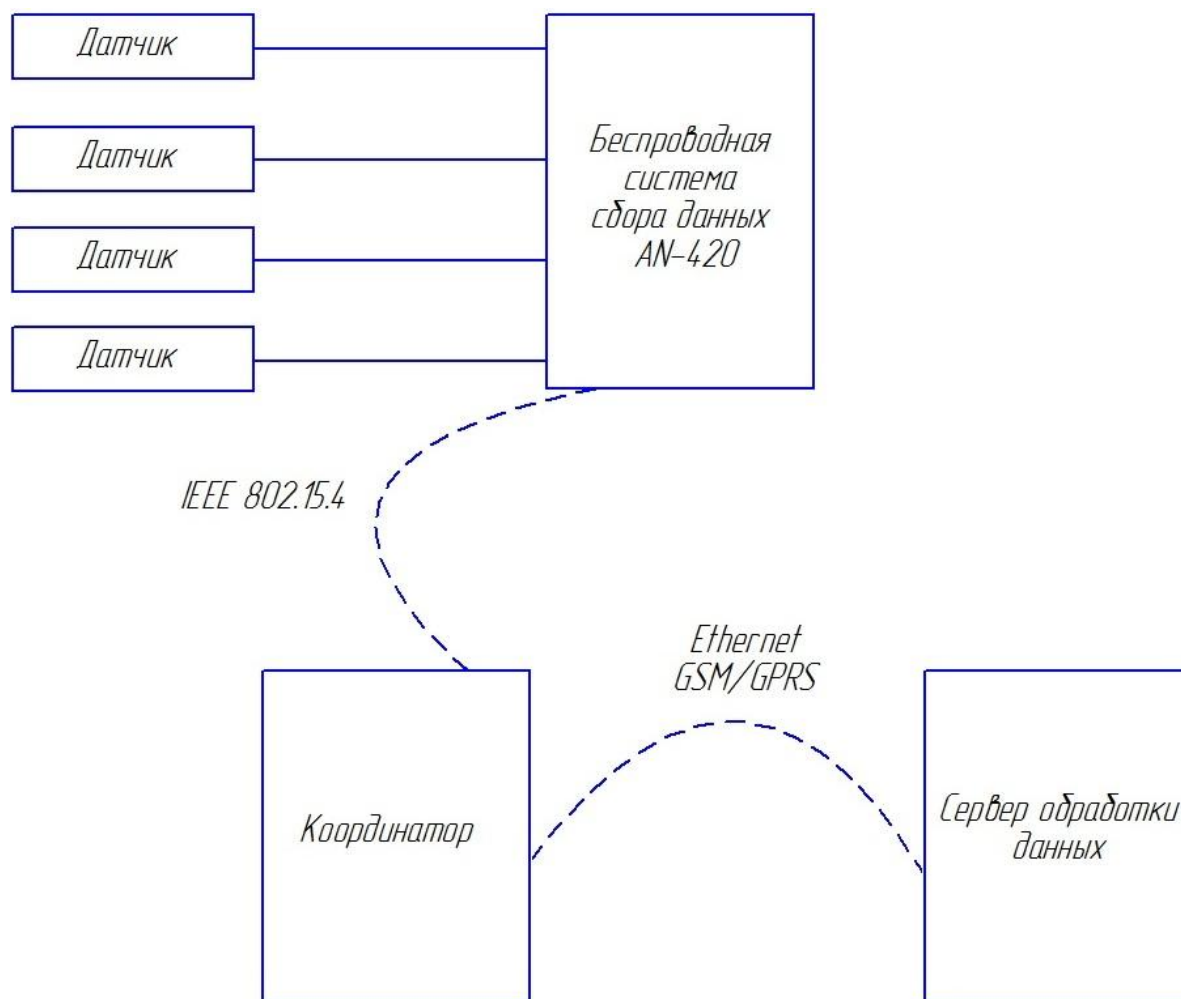


Рисунок 2.9 – Схема передачи данных с датчиков установленные на ветрогенераторе

На рисунке 2.9 наглядно показано, как передаются сведения с датчиков, на сервер обработки данных. Изначально датчик подключается локально, к беспроводной системе сбора данных – AN-420. Далее с помощью беспроводной сети IEEE 802.15.4, все данные передаются на координатор, а

координатор в свою очередь, уже имеет подключение к сети Ethernet и с помощью этой сети передает все данные на сервер обработки данных, где установлено ПО для работы с полученными данными.

Второй вариант самый перспективный, т.к. это более современно и намного упрощает работу с некоторыми рабочими компонентами, т.к. передача данных от датчиков происходит благодаря беспроводной сети. Так же следует учесть, что количество проводов уменьшается в разы.

2.4 Вывод по разделу II

Во втором разделе произведено исследование датчиков необходимые для анализа успешной работы всех компонентов ветрогенератора, а так же оптимального способа передачи данных с датчиков на дальни расстояния с помощью Ethernet протоколов и обработки этих данных на сервере. Все это возможно воплотить в реальность благодаря беспроводному передатчику данных AN-420. Помимо AN-420 обращено внимание на координатор, который обеспечивает синхронизированную передачу данных с приборов AN-420, а так же указаны характеристики всех приборов в восьми таблицах.

3 Разработка алгоритма интеллектуального управления ветрогенераторной установки

Для того, что бы полученные данные с датчиков ветрогенератора обрабатывались удаленно на сервере, нужно разработать ПО, поэтому одна из важнейших частей данной работы, это разработка алгоритма для автоматизированного управления ветрогенератора.

Когда разработчик создает программу, он по сути создает набор алгоритмов. Компьютерная программа - это набор команд, данных машине, написанных на определенном языке, для выполнения ряда конкретных операций с целью получения результата.

Как вы можете себе представить, необработанный компьютер не понимает человеческий язык. Поэтому для общения с компьютером программист использует языки программирования.

Поэтому язык программирования – это инструмент, который служит мостом между человеческим языком и языком, который может понять машина. Таким образом, программист может разработать алгоритмы и создать серию инструкций, которые компьютер может «понять» благодаря языку программирования, поскольку у компьютеров нет собственной воли, у них нет другого выбора, кроме как сделать это.

Фактически, алгоритм лежит в основе таких потенциально мощных технологий, как искусственный интеллект. Алгоритмы уже являются основой технологий автоматического обучения, или «машинного обучения», что удивляет нас каждый день новыми функциями.

Сегодня алгоритмы стоят за такими технологиями, как виртуальные помощники или автономные транспортные средства.

3.1 Классификация алгоритмов

3.1.1 Алгоритм анализа вибрации

Разработанный алгоритм, который показан на рисунке 11, обеспечит надежную работу ветрогенератора. Данный алгоритм выявит отклонения в механической области ветротурбины и проанализирует данные полученные с

датчиков вибрации. Так же в случае серьезных проблем сообщит оператору, какая из механических частей может быть не исправна.

X_m – амплитуд вибрации;

$X_{mн}$ – амплитуда номинальной вибрации;

X_{mmax} – амплитуда максимальной вибрации.

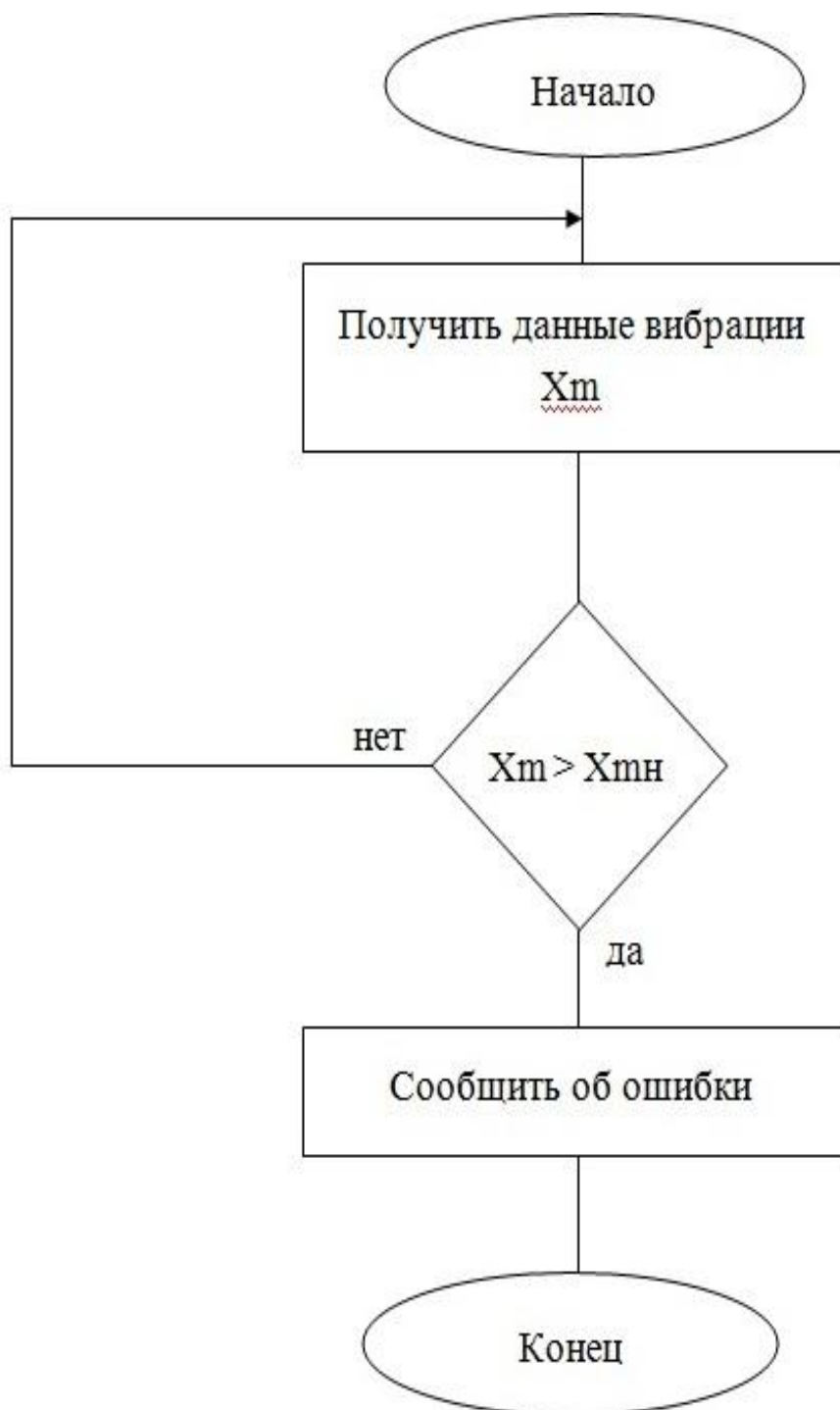


Рисунок 3.1 – Алгоритм вибрации

3.1.2 Алгоритм уровня шума

Датчик с которого приходят данные, программируется на стандартные, рабочие шумы и в случае появления отклонений сообщает об этом оператору.

L_g – амплитуд вибрации;

$L_{g_{\max}}$ – амплитуда максимальной вибрации.

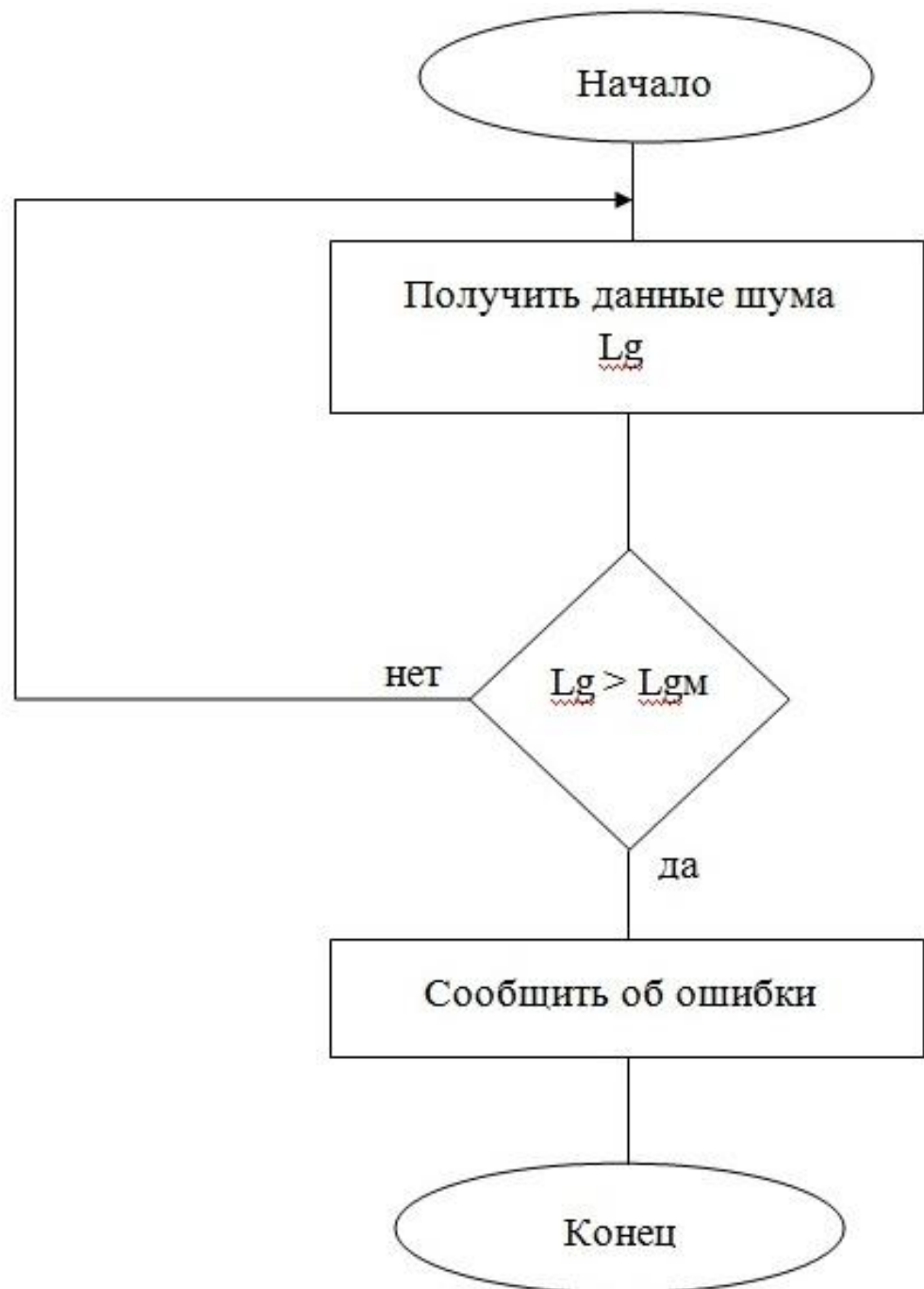


Рисунок 3.2 – Алгоритм уровня шума

3.1.3 Алгоритм скорости вращения

Данный алгоритм позволяет отслеживать не только скорость вала идущего от лопастей к редуктору, но и скорость ротора. Датчик с которого приходят данные, программируется на стандартные, рабочие скорости и в случае появления отклонений сообщает об этом оператору и приостанавливает работу ветротурбины.

L_g – амплитуд вибрации;

$L_{g_{max}}$ - амплитуда максимальной вибрации.

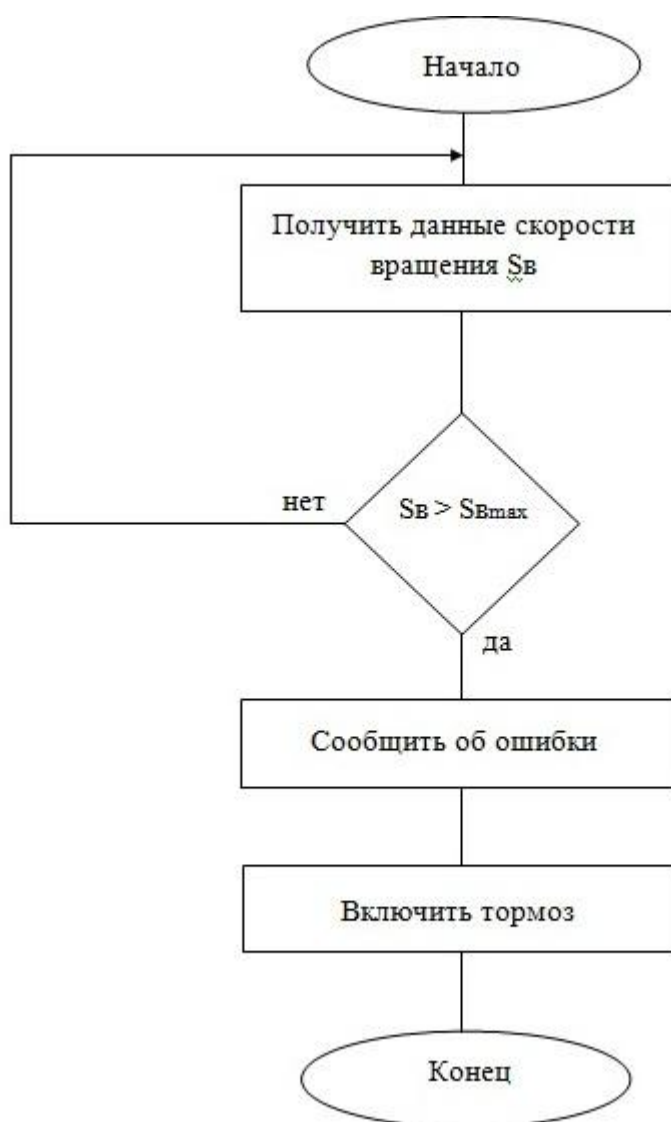


Рисунок 3.3 – Алгоритм скорости вращения

3.1.4 Алгоритм температуры

Датчиков измеряющие температуру в компонентах ветрогенератора, достаточно большое количество и алгоритм в основном везде одинаковый.

t - показатель температуры в С;

t_n - номинальная температура;

t_{max} - максимальная температура.

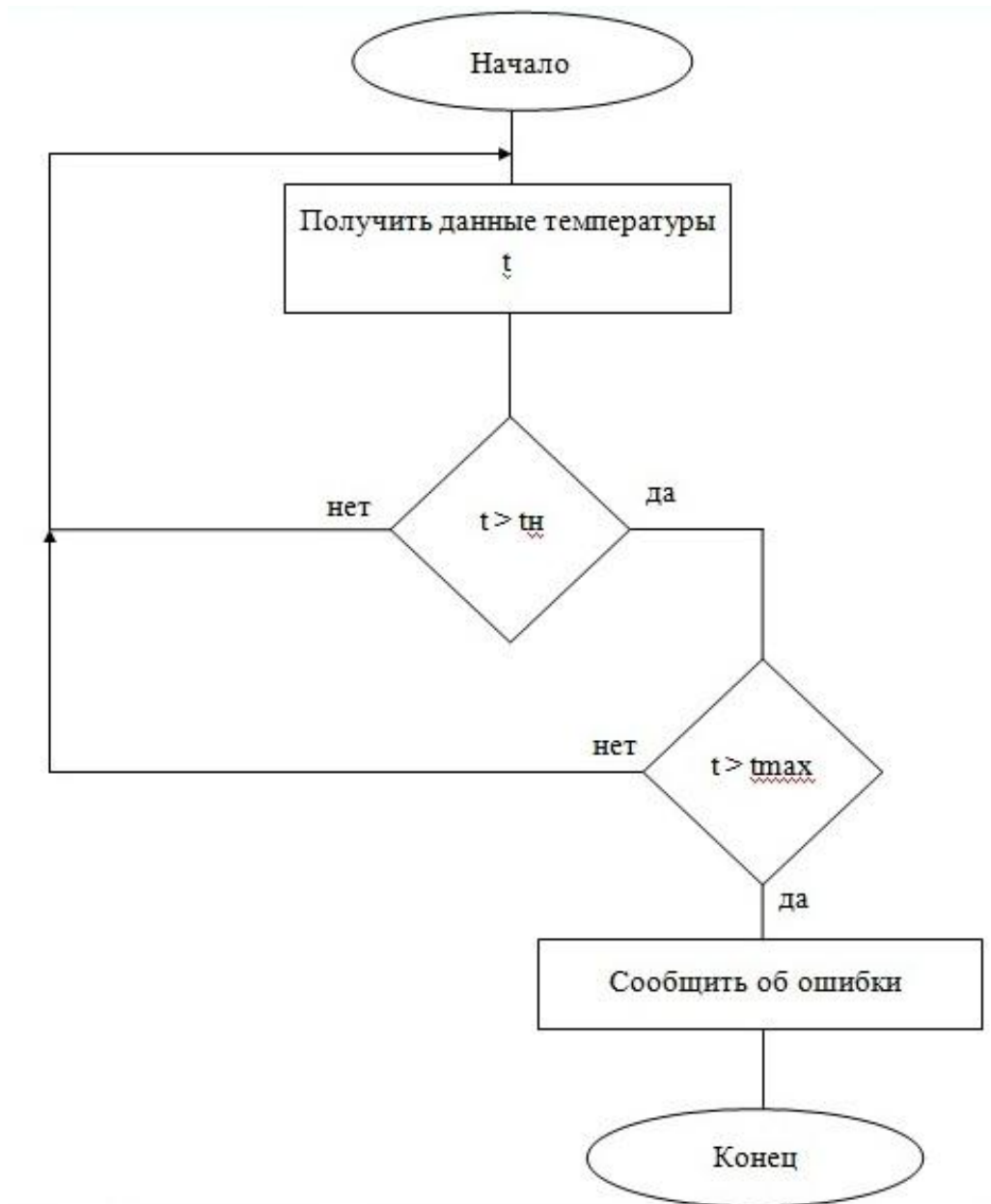


Рисунок 3.4 – Алгоритм температуры

3.1.5 Алгоритм осевого смещения

Разработка этого алгоритма поможет предотвратить нежелательные последствия, связанные с механическими неисправностями, а так же сообщить оператору о возможных проблемах.

X_e – коэффициент осевого смещения;

X_{en} – номинальный коэффициент осевого смещения;

X_{emax} – максимальный коэффициент осевого смещения.

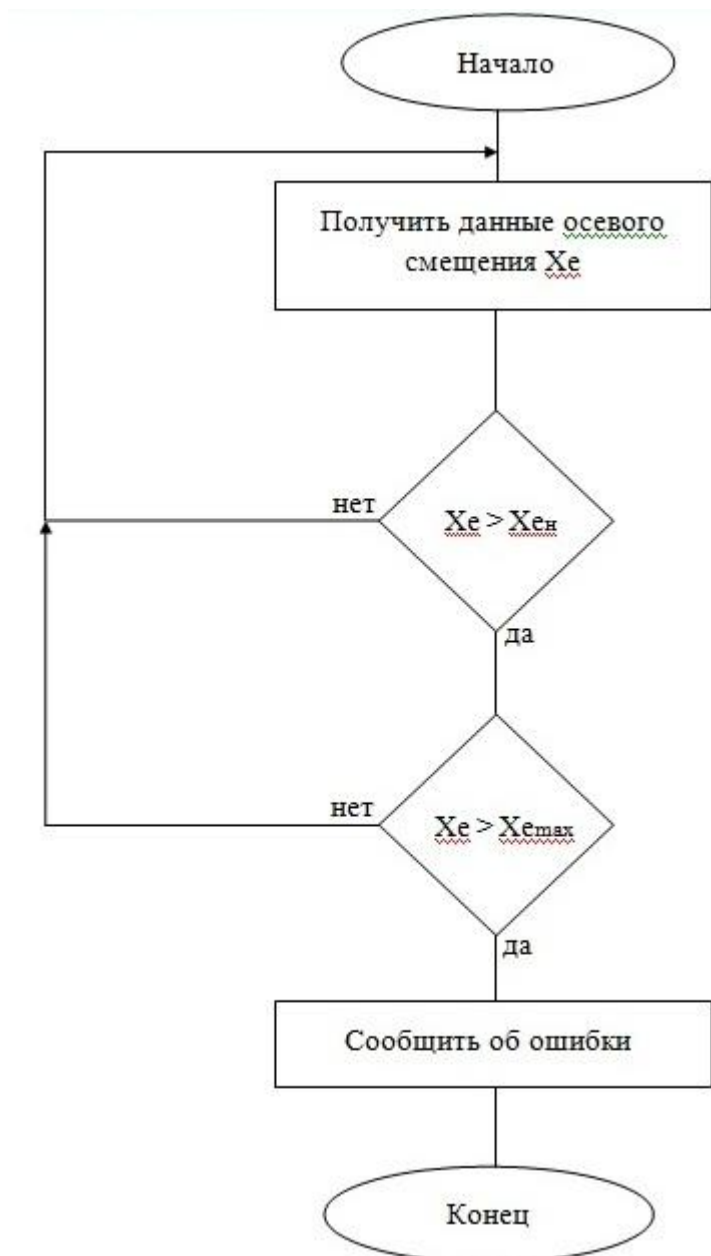


Рисунок 3.5 – Алгоритм осевого смещения

3.1.6 Алгоритм, анализирующий скорость ветра и направления для оптимальной работы ветрогенератора

Разработка этого алгоритма поможет предотвратить нежелательные последствия, связанные с сильным ветром. С помощью данного алгоритма появляется возможность анализировать ситуацию, связанную с сильным или слабым ветром. Алгоритм ищет пути решения проблемы связанные с ветром, в случае медленной скорости ветра и со смещенным углом ветра, алгоритм получает данные с датчиков направления ветра и пытается повернуть гондолу в направление к ветру для оптимальной работы ветроустановки.

S_v – коэффициент скорости ветра;

$S_{vн}$ – номинальный коэффициент скорости ветра;

S_{vmax} – максимальный коэффициент скорости ветра;

$\bar{U}$ – угол ветра;

$\bar{U}_в$ – угол гондолы относительно ветра.

Этот алгоритм изображен на рисунке 16, он один из самых больших и сложных алгоритмов, представленных в этой работе. В случае, если скорость вращения вала приводящего в действии с помощью лопастей, будет выше максимальных критериев, то сработает автономная сигнализацию, позволяющая обезопасить ветротурбину от разрушения и механических поломок. Сигнализация полностью остановит вал и поменяет угол гондолы, для того что бы сильный ветер меньше воздействовал на лопасти, а так же сообщит оператору о данном инциденте. Оператор в свою же очередь может проанализировать полученные данные и принять решение о возможном вызове бригады монтеров, для проверки целостности ветроустановки.

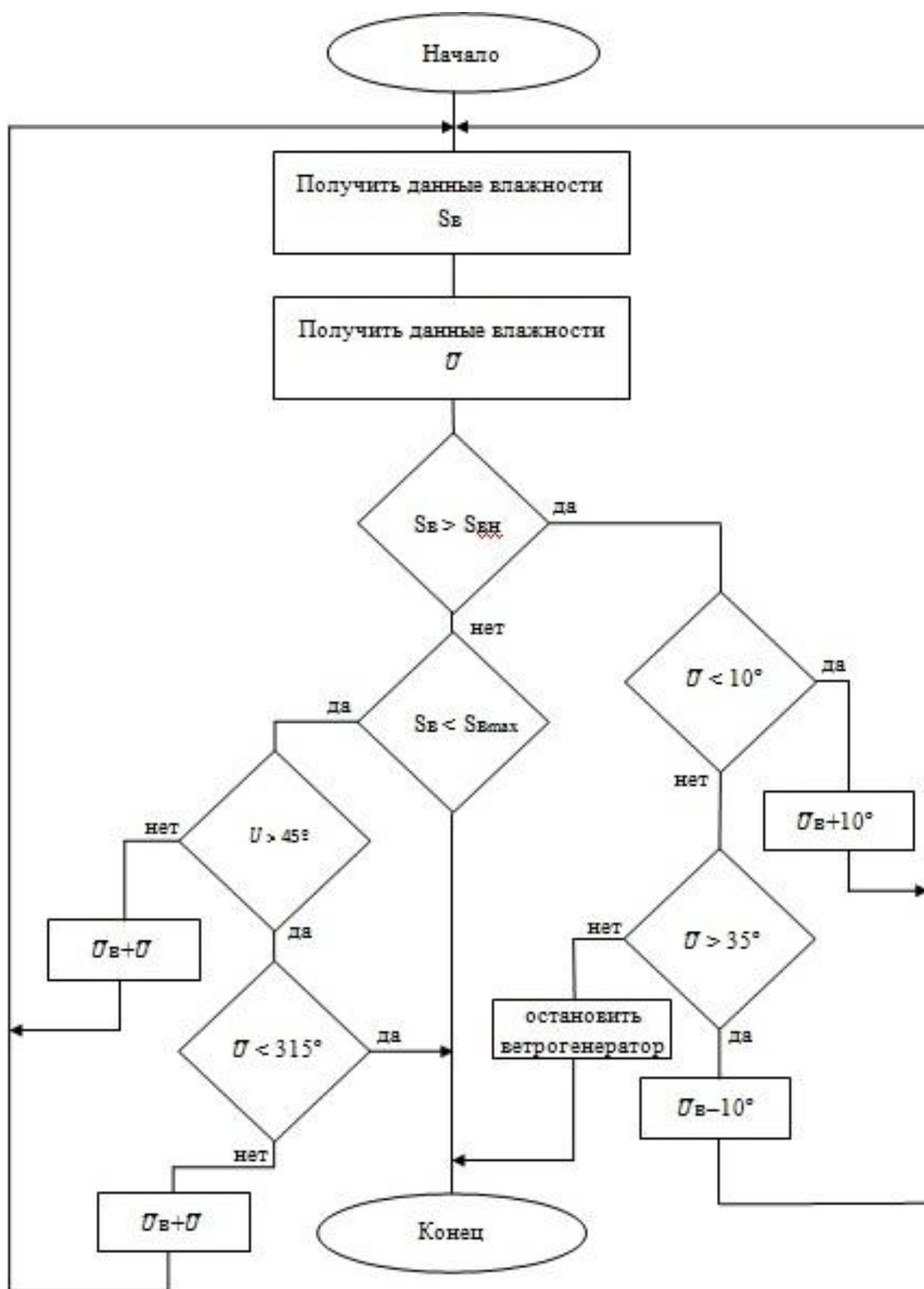


Рисунок 3.6 – Алгоритм анализирующий скорость ветра и направления для оптимальной работы ветрогенератора

3.2 Анализ искусственного интеллекта в энергетической отрасли

Бум возобновляемых источников энергии, (ВИЭ) представляет прекрасную возможность, для экономики энергетического сектора и борьбы с изменением климата. Но из-за присущей им прерывистости лидеры ВЭ (например, Солнечные или Ветровые) сами по себе все еще не могут достичь полного спроса или агрессивных целей сокращения выбросов парниковых газов. Более того, экономика распределенных проектов становится все более конкурентоспособной для неподготовленных разработчиков (то есть более тонкой и рискованной из-за постоянно меняющейся среды).

В результате энергетический сектор сталкивается с волной изменений, которые ставят под сомнение не только его рост, но и его устойчивость. Короче говоря, энергетические рынки меняются, в то время как цепочки поставок становятся все более конкурентными, Мать-Природа оказывает все большее давление на инфраструктуру энергосистем. Неудивительно, что интерес клиентов к контролю своей энергетической судьбы возрастает.

Хранение энергии быстро приводит к радикальным изменениям в области энергетики для коммунальных служб, потребителей, политиков и экономики. Это существенное изменение в парадигме. Это Интернет по сравнению с телеграфом или ветряная мельница 18-го века по сравнению с современной ветряной турбиной.

3.2.1 Интеллектуальное накопление энергии

Действительно, накопление энергии очень помогает решить проблемы, связанные с прерывистой природой Солнца или Ветра как источников энергии, из-за нерегулярного чередования производственных фаз с непроизводительными периодами. Тем не менее, периодическая и хаотическая динамика не только этих источников, но и самой стороны спроса, одного лишь аккумуляторного оборудования, делает мало, чтобы раскрыть истинную энергетическую ценность. Сложность ситуации мешает простому решению или единственной технологии стать спасителем. Фундаментальный ключ к раскрытию этой ценности – правильный контроль накопления энергии

и сложный динамический характер системы (производство-потребление) с помощью сложного программного обеспечения. Именно здесь требуется интеллект (а не простое управление) в форме искусственного интеллекта (ИИ). Сочетание возобновляемой энергии с ИИ-хранилищем может стать изменением парадигмы, которая отличает проекты на будущее. Мы можем назвать это «Интеллектуальным накопителем энергии» или ИНЭ[39].

3.2.2 Оптимизация автономных систем

Во-первых, мы можем легко увидеть, как интеллектуальное хранение энергии может удовлетворить коммерческий и промышленный спрос на автономную систему. Добавление хранилища к установке возобновляемой энергии почти всегда увеличивает экономическую ценность проекта, в основном за счет использования хранимой солнечной или ветровой энергии во время пика заказчика. Но для того, чтобы правильно оптимизировать размер системы и максимизировать отдачу от системы хранения возобновляемых источников для клиента, ИИ открывает множество возможностей, например: выполнять прогнозную аналитику, машинное обучение, обработка больших данных и вычисления на уровне сетки требуется для достижения этих доходов. Каждую секунду данных можно собирать и анализировать по нагрузкам, выработке электроэнергии, погоде, перегруженности близлежащей сети и скорости электричества. ИНЭ может управлять адаптивным хранением в режиме реального времени, что увеличивает ценность для клиента и энергосистемы.

3.2.3 Создание дополнительных доходов по контракту

Во-вторых, ИНЭ может также предоставлять другие услуги или наращивать стоимость дополнительного контрактного дохода (помогая подрядчикам лучше оптимизировать компенсацию для конкретных проектов). ИНЭ может обеспечить доставку неиспользованной энергии, хранящейся в батареях, в качестве практического интегрированного ресурса в те места энергосистемы, которые нуждаются в питании. ИНЭ вместе с ИИ мобилизует сеть доступной энергии для удовлетворения чрезмерного спроса в

определенном секторе, который испытывает высокий спрос и создает нагрузку на энергосистему. Результатом является дополнительный доход и более низкие эксплуатационные расходы для провайдера, а также преимущества энергосбережения при хранении на стороне клиента.

3.2.4 Добавление потоков создания ценности

В-третьих, эти преимущества станут еще более актуальными по мере появления новых стимулов и потоков создания ценностей. Бизнес-среда становится все более сложной, включая снижение платы за спрос, увеличение выручки за счет виртуальных электростанций, защиту от изменения ставок на будущее и получение большей отдачи от инвестиционного налогового кредита. И это задача является максимизировать отдачу при обеспечении соблюдения программы. Недалек тот день, когда он будет настолько сложным, что реализовать всю ценность хранилища возобновляемой энергии можно будет только с помощью искусственного интеллекта.

ИИ позволит создать ряд новых потоков реализации ценностей для проектов возобновляемой энергии. Заказчик, или разработчик солнечной энергии, плательщик тарифов коммунальных услуг и выигрыш энергосистемы. Например, добавление интеллектуальных хранилищ к солнечным проектам максимизирует окупаемость инвестиций, дает пространство, больший контроль и гибкость в условиях изменяющихся ставок, со стороны спроса или климатических условий, обеспечивая при этом доступ к новым коммунальным программам или возможностям получения доходов от оптового рынка. Коммунальные предприятия и операторы сетей могут заключать контракты с виртуальными электростанциями, расположенными по выбору клиента, для обеспечения надежной и экономически эффективной энергии именно там, где и когда это необходимо. В некоторых районах это может привести к тому, что отпадает необходимость в новых пиковых электростанциях или другой дорогостоящей инфраструктуре.

Аккумулирующая система искусственного интеллекта позволяет создать интеллектуальную энергетическую систему. Мы уже видим, что ветер или солнце, развернутые с интеллектуальным хранилищем, скоро затормозят развертывание автономной системы. Когда объединяется ИИ с возобновляемой энергией и хранением, гарантируется, что источник энергии полностью реализует свой потенциал – и это лучший путь для отрасли возобновляемой энергии, самого энергетического сектора и, по сути, его клиентов. В целом, эти улучшения (оптимизация автономных систем, получение дополнительных контрактных доходов и добавление потоков создания ценности) - это всего лишь 3 из многих способов, которыми искусственный интеллект и накопление энергии с помощью Интеллектуального накопления энергии изменят энергетический сектор.

3.2.5 Искусственный интеллект, хранение энергии и энергетика: на пути к разумной и устойчивой сети

Глобальная энергетическая отрасль сталкивается с фундаментальными изменениями в том, как она генерирует, продает и распределяет энергию. И некоторые противоречия и реакции появляются. Существует сильное давление для повышения устойчивости и, в то же время, сокращения выбросов CO₂. Поэтому необходимо найти методы для управления растущим производством электроэнергии из возобновляемых источников энергии, которые непредсказуемы и зависят от эксцентричности местной погоды или даже от глобального климатического фронта, когда мы думаем о последствиях изменения климата.

Становится все более очевидным, что существует глобальный спрос на чистую, дешевую и надежную энергию. Это касается не только операторов электросетей, но и надежности источника энергии, а также стоимости электроэнергии, а также потребителей, правительств и представителей гражданского общества, а также деловых людей, которые хотят, чтобы их клиенты или их партнеры были довольны[40].

Искусственный интеллект (ИИ) может быть очень полезным и даже мощным инструментом для удовлетворения этих потребностей. И мы будем видеть все больше и больше приложений ИИ в энергетическом секторе. В частности, максимизация роста экологически чистого производства электроэнергии с низким содержанием углерода за счет оптимального управления хранением энергии - это приложение для искусственного интеллекта, которое может иметь потенциально огромное долгосрочное влияние.

3.2.6 Способность искусственного интеллекта интегрировать различные источники энергии, включая хранение

Различные формы возобновляемых источников электроэнергии появляются как преемники традиционных угольных и газовых электростанций. Однако ключевой проблемой возобновляемого производства является его прерывистость. Пасмурный день или тихая, безветренная серия после полудня снизит производительность и приведет к отключению электроэнергии. И наоборот, слишком много энергии может генерироваться, когда не нужно. Эта потенциальная потеря или недостаток энергии означает, что важно максимально использовать накопление энергии во всех ее формах (электрохимическом, термическом, механическом и т. д.). Также важно, чтобы это хранилище можно было быстро активировать, если мы хотим свести к минимуму использование резервной энергии, например, дизель-генераторов, угольных электростанций или других электростанций, которые в настоящее время используются для сглаживания быстрых провалов в пиковые периоды.

Для управления чрезмерными пиками необходимы интеллектуальные хранилища или решения Интеллектуальное накопление энергии ИНЭ. ИИ может использоваться для прогнозирования и принятия решений по управлению хранением энергии. Например, ИИ может использоваться для управления нехваткой электроэнергии путем краткого сокращения спроса на электроэнергию в основной сети, в то время как он использует хранилище во

всех сообществах или регионах. Использование ИИ будет генерировать прогнозы спроса на электроэнергию, производства и погоды может снизить потребность в этих мерах предосторожности путем прогнозирования и управления колебаниями выработки. Скорость и сложность этой задачи требуют развитого искусственного интеллекта. Исследования в области искусственного интеллекта также изучают процесс принятия решений в масштабе и сложности, которые начинают превосходить возможности человека-оператора. Это может быть сеть из тысяч накопителей смешанной энергии (электрических, тепловых и других), установленных у потребителей, конечных пользователей или в местах с высокой нагрузкой, таких как промышленные установки.

3.2.7 Гигантская, но чувствительная сеть

Способность ИИ понимать (или расшифровывать) наборы данных, а также моделировать или структурировать данные, а также делать очень точные прогнозы и симуляции, увеличит возможности для оптимизации энергосистем, энергоэффективности и даже периода роста спроса.

Искусственный интеллект (ИИ) в сочетании со многими передовыми технологиями накопления энергии, когда речь идет о машинном обучении, глубоком обучении и продвинутых нейронных сетях, может продемонстрировать огромный потенциал для преобразования энергии и коммунального сектора. В условиях декарбонизации, децентрализации и развертывания новых технологий, коммунальные предприятия, независимые производители электроэнергии и другие энергетические компании используют ИИ для управления дисбалансом спроса и предложения, вызванным растущей долей возобновляемых источников энергии.

Клиентская база стала гигантской. Клиентская база выросла до сотен миллионов пользователей, но общая структура все еще нуждается в современном капитальном ремонте. Это обширная сеть электростанций, линий электропередач и распределительных центров. И все это, менее чем через 140 лет после того, как Томас Эдисон открыл первую электростанцию

США в 1882 году в нижнем Манхэттене для обслуживания первых 59 североамериканских потребителей.

Помимо создания электрических и гибких электрических сетей и систем, алгоритмы искусственного интеллекта помогают коммунальным предприятиям и энергетическим компаниям понимать и оптимизировать поведение пользователей и управлять потреблением энергии в разных секторах в меняющемся контексте и окружающей среде.

3.2.8 Расширение децентрализованного производства

Другой проблемой является появление и рост децентрализованного поколения, где частные пользователи генерируют и используют свое собственное электричество из возобновляемых источников, таких как энергия ветра и солнца. Это усложняет предложение и спрос, вынуждая коммунальные предприятия покупать избыточную энергию у частных пользователей, которые производят больше электроэнергии, чем потребляют, и отправляют ее обратно в сеть. С 2010 года использование солнечной энергии увеличилось более чем в три раза, и ожидается, что эта тенденция сохранится в случае использования фотоэлектрических элементов, устройств, вырабатывающих электроэнергию из солнечного света, снижения затрат и повышения эффективности.

Нынешние системы обычно не предназначены для учета этой диверсификации источников энергии, особенно увеличения возобновляемых ресурсов. Например, во многих российских юрисдикциях, когда спрос превышает предложение, коммунальные предприятия активируют электростанции на основе ископаемого топлива, известные как современные электростанции, всего за пару минут, чтобы избежать каскадной катастрофы. Эта процедура является самой дорогой и, вместе с тем, самой прибыльной для этих компаний. Это приводит к увеличению счетов за электроэнергию для потребителей и увеличению выбросов парниковых газов в атмосферу. Эти проблемы будут усугубляться, так как ожидается, что спрос на энергию в ближайшие годы существенно возрастет. Чтобы избежать этих

неоптимальных (для наименьшего) режима работы с ИНЭ, ИИ может включить алгоритмы автоматического обучения,

В сочетании с другими технологиями, такими как большие данные, облако и интернет вещей (IoT), хранение энергии с помощью ИИ может играть важную роль в управлении электросетями, улучшая доступность источников питания возобновляемой энергии.

3.2.9 Умная сетка с накоплением энергии

Чтобы противостоять различным возникающим проблемам, кажется, что одним из ключевых устойчивых и надежных решений будет Интеллектуальное накопление энергии, где искусственный интеллект будет мозгом. Эта умная сеть с накоплением энергии будет непрерывно собирать и синтезировать огромные объемы данных от миллионов интеллектуальных датчиков, чтобы своевременно принимать решения о том, как лучше распределить энергетические ресурсы. Кроме того, успехи, достигнутые в алгоритмах глубокого обучения, системе, в которой машины самостоятельно учатся по шаблонам и маркировке аномалий в больших наборах данных, революционизируют спрос и предложение в области энергосбережения.

В результате мы увидим, что все больше и больше специализированных микросетей будут управлять локальными потребностями в энергии с более высоким разрешением. Они могут сочетаться с новыми технологиями накопления энергии различного типа, которые обеспечивают непрерывный обмен между местными сообществами, даже когда экстремальные погодные условия или другие сбои влияют на более широкую энергосистему.

Что касается предложения, то ИНЭ перейдет в портфель с большей энергетической комбинацией, характеризующейся увеличением производства возобновляемых ресурсов и минимальными перебоями из-за естественной прерывистости, связанной с этими источниками, из-за переменной интенсивности солнечного излучения и ветра. Например, когда возобновляемые источники энергии работают выше определенного порога из-за повышенной силы ветра или солнечных дней, энергосистема будет снижать

производство ископаемого топлива, тем самым ограничивая выбросы газа вредный парниковый эффект. Противоположность была бы верна в периоды производства возобновляемой энергии ниже пика, позволяя использовать все источники энергии с максимальной эффективностью и полагаясь только на ископаемое топливо, когда это необходимо. Кроме того, производители смогут управлять производством энергии из нескольких источников, чтобы справляться с социальными, пространственными и временными колебаниями спроса в реальном времени.

3.2.10 Выигрышная комбинация

Ожидается, что в течение следующих нескольких лет технологии ИНЭ повысят эффективность сектора возобновляемой энергии за счет автоматизации его операций в секторах солнечной и ветровой энергии. Это также позволит коммунальным предприятиям и ИЦП запускать новые модели бизнеса и обслуживания.

Если такая интеллектуальная энергосистема с накопителем энергии способна наиболее эффективно использовать источники энергии, в том числе ископаемое топливо, за счет лучшей интеграции возобновляемых ресурсов по мере совершенствования и повышения производительности этих технологий, вся система может значительно сократить выбросы углерода. Несмотря на эту неопределенность в отношении будущих технологических инноваций, мы также можем ожидать, что система интеллектуальных сетей сократит счета за электроэнергию и предотвратит катастрофические отключения электроэнергии за счет оптимизации спроса и предложения на местном и национальном уровнях.

Аналогичным образом, приложения, основанные на ИНЭ, могут создать дополнительные возможности получения дохода для сектора энергетики и коммунальных услуг путем:

- Разрешить программным приложениям анализировать большие наборы данных, выявлять закономерности, обнаруживать аномалии и делать

точные прогнозы или иметь возможность автономно принимать точные решения на основе обучения.

- Содействовать активному участию клиентов в программах реагирования на спрос, используя передовые алгоритмы и используя блокчейн для защиты данных и реализации ориентированных на клиента решений.

Для тех, кто стремится повлиять на будущее общества, интерфейс между ИИ и накопителем энергии является отличной отправной точкой. Технологические инновации радикально меняют наши взгляды на эти две отрасли, и их интеграция находится в зачаточном состоянии. Их синергия может изменить мир, каким мы его никогда не знаем, и открыть возможности, одновременно улучшая его устойчивость к умной и устойчивой сетке.

3.3 Вывод по разделу III

В этом разделе произведена разработка алгоритмов анализа встроенных датчиков в ветроустановку и своевременную обработку информации для принятия оптимального решения, в случае каких либо нюансов во время работы ветроустановки. В эти нюансы входят: слабая скорость ветра или наоборот быстрая, нестандартные шумы или вибрации, чересчур высокая температура некоторых компонентов. С помощью алгоритма ветроустановка сама подстроится под оптимальный рабочий вариант, что приведет к бесперебойной добычи энергии или наоборот выполнит экстренную остановку ветрогенератора и сообщит о проблеме оператору для принятия определенных мер, по нестандартной ситуации. Это позволит в кратчайшие сроки решить проблему. А так же был произведен анализ искусственного интеллекта в энергетической отрасли, где были выделены главные аспекты в развитии искусственного интеллекта[38,40].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение проделанной работе были достигнуты следующие результаты:

1. Было смоделировано общее состояние всей ветроэнергетики России, а так же произведено сравнение состояния ветростанций с успевающими странами в этом направлении, выявлена область медленного развития ветростанции и разработаны этапы успешного развития, а так же были рассмотрены недостатки и преимущества ветроэнергетики в России.

2. Проанализированы способы передачи данных с приборов учета на дальние расстояния. Из этого анализа подобран и смоделирован вариант передачи данных с помощью беспроводной сети. Этот вариант обеспечивает надежную передачу данных с датчиков ветрогенератора, до сервера интеллектуального управления ветростанцией.

3. Произведен анализ работы ветростанции, из этого анализа спроектирована модель оптимальной работы ветростанции. Модель показала, какие компоненты необходимо автоматизировать для бесперебойной работы ветрогенератора. Далее на основе спроектированной модели были разработаны алгоритмы, анализирующие полученные данные с датчиков ветрогенератора, что позволяет уменьшить время на обслуживание ветрогенератора и обеспечить бесперебойную работу всей установки.

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемых источников. Работа изложена на 73 страницах основного текста, содержит 16 рисунков, 9 таблиц. Список используемых источников включает 40 наименований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jingah H. Advancer communication system in substation for integrated protection [Электронный ресурс]: Transaction of Tianjin University. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12209-008-0023-9.html>. (дата обращения: 11.03.2019).
2. Шишов О.В. Технические средства автоматизации и управления: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2012. 397 с.
3. Ступина А. А. Технология надежного программирования задач автоматизации управления в технических системах. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 164 с.
4. Шишов О.В. Технические средства автоматизации и управления: учеб. пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 396 с.
5. Афонин А. М., Царегородцев Ю. Н., Петрова А. М. Теоретические основы разработки и моделирования систем автоматизации: учеб. пособие. М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 192 с.
6. ABB Group process control systems ABB. [Электронный ресурс]: / URL: <https://new.abb.com/ru/produkty-i-servisy> (дата обращения: 23.12.17).
7. Вахнина В. В., Шаповалов В. А., Черненко А. Н. Некоторые особенности режимов работы электрических сетей с изолированной нейтралью. // Энергетика и Энергоэффективные технологии: материалы Международной научно–технической конференции, посвященной 50-летию ЛГТУ. Липецк: ЛГТУ, 2006. С. 24–27.
8. Вахнина В. В., Чертаков С. С., Черненко А. Н. Анализ особенностей электрических сетей с изолированной нейтралью методами математического моделирования // Энергетика и энергоэффективные технологии: сборник докладов II Международной научно-технической конференции. Липецк: ЛГТУ, 2007. С. 57–58.

9. Калинеченко А.В., Уваров Н. В., Дойников В. В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам в автоматике. М.: Инфра-Инженерия, 2015. 576 с.
10. Пантелеев В. И., Поддубных Л. Ф. Многоцелевая оптимизация и автоматизированное проектирование управления качеством электроснабжения в электроэнергетических системах. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. 194 с.
11. Калентионюк Е. В., Прокопенко В. Г., Федин В. Т. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие. Минск: Выш. шк., 2007. 351 с.
12. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. пособие. М.: ИД ФОРУМ., 2018. 416 с.
13. Аметистов Е. И. Основы современной энергетики под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова М.: Издательство МЭИ, 2004. 822с.
14. Ившин В. П., Перухин М. Ю., Дюдина И. А., Фафурин А.В. Интеллектуальная автоматика в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие. Казань: КГТУ, 2010. 277 с.
15. Бычков В. В. Основы теории электрических цепей. СПб.: Лань, 2002. 370 с.
16. Брюханов О. Н., Плужников А. И. Основы эксплуатации оборудования и систем газоснабжения М. :НИЦ ИНФРА-М, 2016. 256 с.
17. Барский А. Г. Оптико-электронные следящие и прицельные системы: учеб. пособие. М.: Логос, 2013. 248 с.
18. Горелик А. В. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Ч.1. М.: ФГБУ ДПО "УМЦ ЖДТ", 2012. 272 с.
19. Горелик А. В. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Ч.2. М.: ФГБУ ДПО "УМЦ ЖДТ", 2012. 205 с.
20. Яковенко Г. Н. Теория управления регулярными системами: учеб. пособие. 2-е изд. (эл.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 264 с.

21. Csanyi E. Site selection considerations for the future power substation [Электронный ресурс]: Reference: Jim Bruke (Baltimore Gas & Electric Company) 87 Anne-Marie Sahazizian (Hydro One Networks, Inc.). URL: <http://electricalengineering-portal.com/site-selection-considerations-for-the-future-powersubstation.html> (дата обращения: 19.02.2019).
22. Хорольский В. Я., Таранов М. А., Жданов В. Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учеб. пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
23. Трофимов В. Б., Кулаков С. М. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учеб. пособие Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 232 с.
24. Родина О. В. Волоконно-оптические линии связи: Практическое руководство М.: Гор. линия-Телеком, 2012. 400 с.
25. Rittal – The System [Электронный ресурс]: / URL: <https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/produkte/produkte.jsp> (дата обращения: 20.02.18).
26. Csanyi E. Power System Stability [Электронный ресурс]: Electrical Engineering Portal. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/power-systemstability.html> (дата обращения: 10.02.2019).
27. Elmakias D. New Computational Methods in Power System Reliability. Israel, Haifa, 2008. 416 с.
28. Csanyi E. Location of Current Transformers in HV Substation [Электронный ресурс]: Substation desing/application guide – V AYADURAI BSC, C.Eng, FIEE Engineering Expert. URL: <http://electrical-engineeringportal.com/location-of-current-transformers-in-hv-substation.html>. (дата обращения: 10.02.2019).
29. Головицына М. В., Зотов С. П., Головицын М. В. Проектирование автоматизированных технологических комплексов: учеб. пособие. М.: Изд-во МГОУ, 2001. 256 с.

30. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 изд., изм. и доп. по состоянию на 1 февраля 2015 г. - 7-е изд., Литтерра, 2015.
31. Дорощенко И.В. Механические характеристики автоматизированного электромеханического стенда на основе асинхронно-вентильного каскада // Вестник Гомел.гос.техн. ун-та им П.О. Сухого.-2011.- №2-С. 68-72.
32. Денисов В.А. Системы позиционного электропривода с переменной структурой управления. – М.: Спутник+. 2013 – 119 с.
33. Денисов В.А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: Учебное пособие – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 119 с.
34. Денисов В.А. Теория и переходные процессы электромагнитных устройств и электромеханических преобразователей энергии / Электронное учебное пособие // Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014. – 162 с.
35. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе / Учебное пособие // Корона-Принт, 2016.
36. Hongbo Q. Research on the influence of driving harmonic on electromagnetic field and temperature field of permanent magnet synchronous motor [Электронный ресурс] / Archives of Electrical Engineering. – 2017. – Volume 66. – PP. 295-312 – URL: <https://www.degruyter.com/view/j/aee.2017.66.issue-2/aee-2017-0022/aee-2017-0022.xml> (дата обращения: 6.03.2019).
37. Tadeusz G. Asynchronous slip-ring motor synchronized with permanent magnets [Электронный ресурс] / Archives of Electrical Engineering – 2017. – Volume 66. – PP. 199-206 – URL: <https://www.degruyter.com/view/j/aee.2017.66.issue-1/aee-2017-0015/aee-2017-0015.xml?format=INT> (дата обращения: 22.10.2018).
38. Djamel B. On-Line Efficiency Improvement of Induction Motor Vector Controlled [Электронный ресурс] / Power Engineering and Electrical Engineering. – 2016. – Volume 6. – PP. 247-253 – URL:

<http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/1682> (дата обращения: 18.01.2019).

39. Nikolina P. Software System for Finding the Incipient Faults in Power Transformers [Электронный ресурс] / TEM Journal. – 2015. – Volume 4. – PP. 125-129–URL: <https://doaj.org/article/01633a9c5a2441cf90ec26c35df3e719> (дата обращения: 3.05.2019).

40. Sorin M. Induction Motor with Switchable Number of Poles and Toroidal Winding [Электронный ресурс] / Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2011 – Volume 11. – PP.113-118–URL: <http://www.aece.ro/abstractplus.php?year=2011&number=2&article=18> (дата обращения: 11.05.2019).