

Министерство образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

**КОЛЯКИН ВИКТОР ЛЕОНИДОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ГИБРИДНОГО ТИПА КРУПНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБЪЕКТА**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль «Электроснабжение»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Коротченко  
Лариса Никитовна

**Проверено**

20.03.2020 Зачтено Библиотека

Комсомольск – на – Амуре

2020

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

Научный руководитель

кандидат тех. наук, доцент  
Янченко Андрей Вячеславович

Рецензент

заместитель начальника УПК Филиала  
ПАО «Компания «Сухой» КНААЗ  
им. Ю.А. Гагарина»  
кандидат тех. наук,  
Киница Олег Игоревич,

Защита состоится «20» марта 2020 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Автореферат разослан \_\_ марта 2020 г

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Актуальность данной работы связана с тем, что для промышленных объектов удаленных от источников централизованного снабжения возникает необходимость повышения надежности электроснабжения путем параллельного использования альтернативных источников энергии. Степень надежности альтернативных источников будет определяться количеством видов возобновляемой энергии, используемых в них. Наиболее перспективны гибридные системы автономного электроснабжения при совмещении ветроэнергетических установок(ВЭУ) и солнечной электростанции(СЭС), которые дополняют друг друга. Для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта и оптимального соотношения между ВЭУ и СЭС, необходимо учитывать местные климатические условия по ветровой нагрузке и солнечной радиации. В данной работе разрабатывается система автономного электроснабжения хозяйственного объекта, расположенного вблизи города Комсомольска-на-Амуре. Для данного района, учитывая среднегодовые показатели ветровых нагрузок и солнечной радиации, использование гибридной системы электроснабжения с ВЭУ и СЭС является перспективным. Однако, сложность процессов энергопреобразования в гибридных энергоустановках, совершенствование их характеристик и расширение масштабов практического применения возобновляемой энергетики требуют продолжительных исследований в указанном направлении.

Таким образом, диссертационные исследования, посвященные разработке и исследованию гибридной системы с использованием фо-

тоэлектрической системы и ветроэлектрической установки, своевременны и направлены на решение актуальной хозяйственной задачи.

**Степень разработанности.** В процессе работы над диссертацией был проведен обзор существующих автономных источников электроэнергии для средней мощности. Была разработана и исследована наиболее надежная гибридная система электроснабжения для Комсомльского района Хабаровского края.

**Объектом исследования** является гибридная (ветросолнечная) система электроснабжения для крупного хозяйственного объекта.

**Целью и задачей исследования** является разработка гибридной системы автономного электроснабжения для крупного хозяйственного объекта, расчет фотоэлектрической системы и ветроэлектрической установки, исследование асинхронизированного синхронного генератора, путем моделирования в среде MATLAB Simulink, экономическая оценка системы, экологический анализ.

**Личный вклад.** Автором был проведен обзор наиболее перспективных и надежных систем автономного электроснабжения объектов, сделан расчет гибридной системы электроснабжения крупного хозяйственного объекта, проведено моделирование фотоэлектрической системы и ветровой турбины с сравнением с другими ветроагрегатами.

**Апробация работы.**

**Публикации.** По результатам исследований имеются две публикации: Журнал «Ученые записки КнАГУ». Номер: № 3 - 1 (39) 2019 Науки о природе и технике. – Режим доступа:

1. Громов А. А., Колякин В. Л., Толочкин А. С. А. А. Системы электроснабжения на базе автономных установок // Дальневосточная весна – 2018: материалы 16-й Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии

и безопасности / КНАГУ, 28 апреля 2019 г. – Комсомольск-н/А: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. с. 37-39.

2. Колякин В.Л., Янченко А.В. Система электроснабжения промышленного объекта на базе возобновляемых источников

Материалы 49-й НТК аспирантов и студентов. ФГБОУ ВО «КНАГУ». Комсомольск-н/А, 2019. с. 355-357.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка использованных источников. Содержит 75 страниц основного машинописного текста, 25 рисунков. Библиографический список включает 22 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** раскрыта актуальность темы диссертации, обозначена цель и сформулированы задачи исследования.

**В первой главе** представлен расчет крупного хозяйственного объекта, выбирается необходимое количество и вид ламп освещения.

**Во второй главе** рассчитывается полная мощность, требуемая для потребителей электроэнергии, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Требуемые мощности потребителей электроэнергии

Потребитель	Мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
Система охраны	10000	46200
Система надзора	10000	
Прочие нужды	10000	
Освещение	16200	

**В третьей главе** произведен расчет фотоэлектрической системы (ФЭС), найден ток, генерируемый в ФЭС, при номинальном напряжении ФЭС  $U_{фэс} = 12$  В. Выбран для ФЭС фотоэлектрический модуль SilaSolar SIM 300 PERC ( 5BB ) со следующими характеристиками, приведенными на рисунке 1 (параметры измерены при стандартных условиях – интенсивности солнечной радиации 1000 Вт/м<sup>2</sup> и температуре 25 °С)

Технические характеристики:	
Тип солнечного элемента	Монокристалл 156×156 мм
Матрица и число элементов	6×10 (60 шт)
Габариты	1640 × 992 × 40 мм
Вес	18,6 кг
Покрытие	Закаленное стекло
Рамка	Анодированный алюминиевый сплав
Относительная влажность	0 до 100 %
<i>Электрические характеристики</i>	
Максимальная мощность STC (Pmax)	300 Вт
Напряжение холостого хода (Voc)	37,67В
Оптимальное рабочее электрическое напряжение (Vmp)	31,39В
Ток короткого замыкания (Isc)	10,19А
Оптимальный ток срабатывания	9,56А
Рабочий температурный диапазон	-40°C до +85°C
Максимальное напряжение системы	1000V DC

Рисунок 1 - Характеристики фотоэлектрического модуля SilaSolar SIM 300 PERC ( 5BB )

**В четвертой главе** представлен расчет асинхронизированного синхронного генератора для ветроэлектрической установки (ВЭУ), где определяется его максимальная мощность, необходимая для стабильного энергообеспечения. Рассчитан асинхронизированный синхронный генератор для ВЭУ.

На рисунке 2и 3 представлены регулировочная и внешняя характеристики .

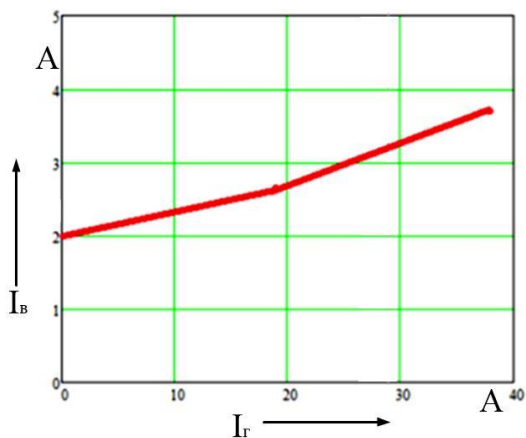


Рисунок 2– Регулировочная характеристика

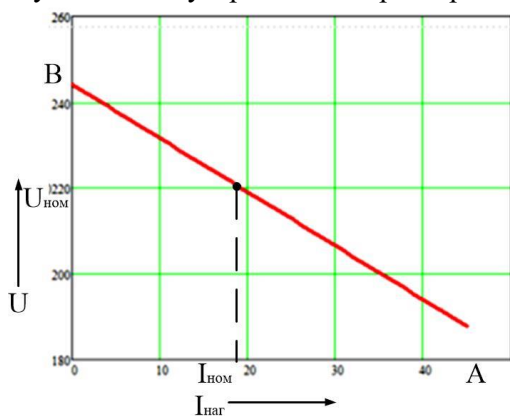
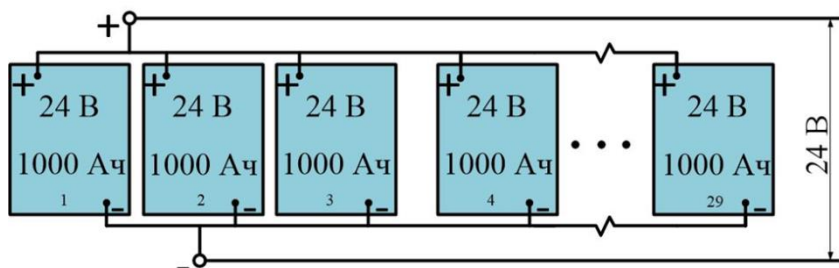


Рисунок 3 - Внешняя характеристика

**В пятой главе** рассчитана ёмкость аккумуляторных батарей, требующаяся для покрытия нагрузки на 12 часов. Выбраны аккумуляторы Yale ERP 12 RCF , имеющие следующие характеристики: ёмкость – 1000 А·ч; напряжение – 24 В; габариты – 820 \* 485 \* 680 мм; вес – 821 кг; РТД – -20....+45°С, цена – 157539 руб. необходимое количество 29шт. Для этого,

чтобы набрать блок аккумуляторов большой емкости, рекомендуется параллельное соединение 24-ти вольтовых моноблоков. Как представлено на рисунке 4



Общая ёмкость 29000 Ач

Рисунок 4 - Параллельное соединение 29-ти аккумуляторных батарей

В шестой главе рассмотрен и смоделирован в среде MATLAB Simulink асинхронизированный синхронный генератор используемый для ВЭУ на рисунке 5.

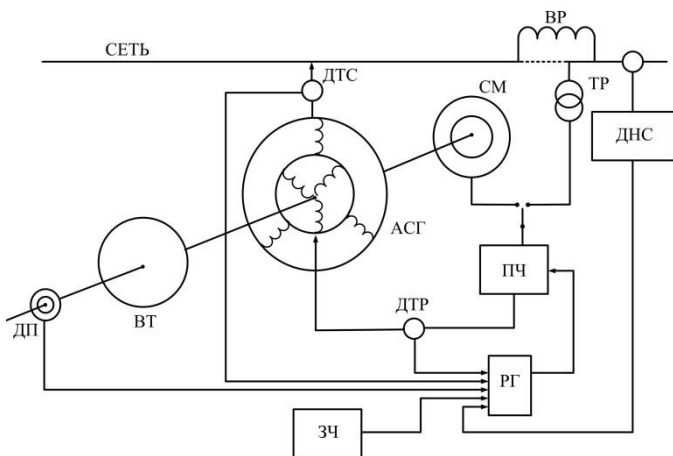


Рисунок 5 - Схема генерации энергии АСГ

ПЧ – преобразователь частоты; РГ – регулятор генератора; ЗЧ – задатчик частоты; ДНС – датчик напряжения сети; ДТС – датчик тока статора; ДТР – датчик тока ротора; ВТ – ветровая турбина; СМ – синхронная машина; ТР – трансформатор; ВР – внешняя реактивная, ДП – датчик положения.



Основным отличием АСГ от обычной синхронной машины, является наличие двух обмоток возбуждения, расположенных вдоль и поперёк оси. Поэтому ротор АСГ имеет в сущности двухфазную обмотку. В нормальном режиме ротор питается постоянным током, этот режим ничем не отличается от режима работы обычной синхронной машины. Однако в аварийных режимах, когда синхронное вращение ротора с полем статора нарушается (короткие замыкания в сети, качания ротора и пр.), обмотки возбуждения питаются переменными токами частоты скольжения, сдвинутыми по фазе на  $90^\circ$ , вследствие чего получается поле возбуждения, вращающееся относительно ротора. Частота токов возбуждения регулируется автоматически и непрерывно таким образом, что поля возбуждения и якоря вращаются синхронно, благодаря чему они создают вращающий момент постоянного знака. В результате машина не выпадает из синхронизма и устойчивость её работы повышается, что и составляет преимущество данной машины.

В среде MATLAB Simulink, смоделирован АСГ смотреть схему модели на рисунке 6.

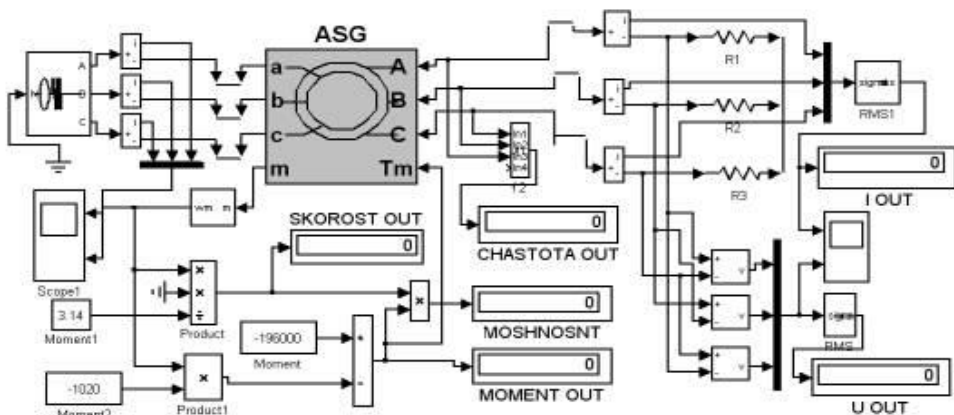


Рисунок 6- Модель АСГ из библиотечных элементов Simulink

В процессе исследования изменялась частота вращения при нулевой частоте возбуждения, затем частота возбуждения при частоте вращения 50 Гц. Результаты представлены на рисунке 7.

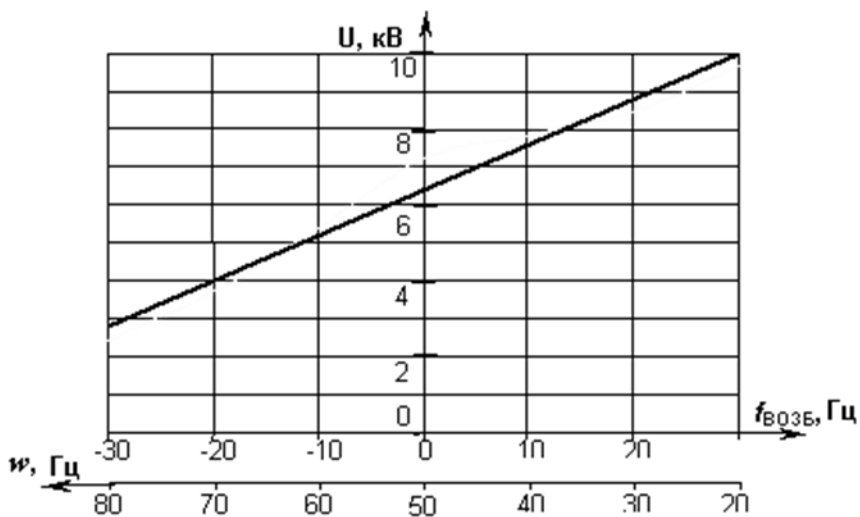


Рисунок 7 - Зависимость напряжения генератора от частоты вращения и возбуждения при холостом ходу

Определены как мощность, переданная в нагрузку, и КПД при различных частотах возбуждения. На рисунке 8 представлены зависимости передаваемой мощности от тока нагрузки при различных частотах в диапазоне  $\pm 30$  Гц при постоянном напряжении возбуждения генератора.

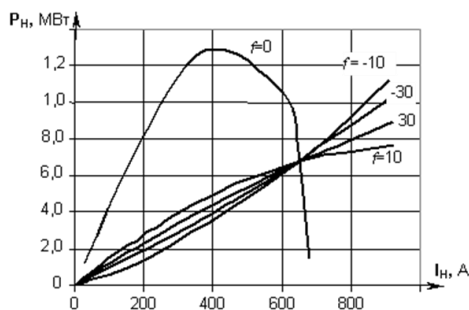


Рисунок 8- Зависимость генерируемой мощности, от тока нагрузки при различных частотах возбуждения

**В седьмой главе** представлен расчет себестоимости, рыночной цены ВЭУ, ФЭС, расчёт себестоимости системы автономного электроснабжения хозяйственного объекта, расчёт срока окупаемости всей системы автономного электроснабжения.

Экономический расчет о целесообразности применения моей вертикальной ВЭУ основывается на выбранных компонентах ВЭУ, которые соответствуют требуемой нагрузке, и выбранной ВЭУ. Стоимость соответствующих комплектующих представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Расчет себестоимости и рыночной цены ВЭУ

Компоненты системы автономного электроснабжения	Стоимость, руб.		
	комплекта,	шт.	стоимость
Вертикально-осевой ВЭУ	580000	4	2320000
Солнечные модули	10400	824	8569600
Аккумуляторы	157539	29	4568631
Инвертор с контроллером заряда	58000	5	290000
<b>ИТОГО:</b>			<b>15748231</b>

С рок окупаемости моей автономной системы автономного электроснабжения составляет 7,4 года.

**В восьмой главе** произведен анализ потенциальных опасностей и вредных производственных факторов при эксплуатации проектируемой си-

стемы, разработаны мероприятия по достижению безопасных и безвредных условий труда при эксплуатации проектируемой системы, и определена экологичность проекта.

## **Заключение**

В настоящей магистерской диссертации рассчитана и спроектирована система автономного электроснабжения для хозяйственного объекта. Рассмотрены различные варианты систем автономного электроснабжения.

Произведён расчёт фотоэлектрической системы, в результате которого выбрано количество фотоэлектрических модулей. Смоделирован в среде MATLAB Simulink асинхронизированный синхронный генератор, сняты внешние характеристики. Произведён расчёт мощности ветроэлектрической установки, который позволил определить необходимую конструкцию и мощность электрогенератора.

В качестве электрогенератора для ветроэлектрической установки выбран асинхронизированный синхронный генератор, так как он обеспечивает выработку электроэнергии стабильной частоты и стабильного выходного напряжения при различных скоростях вращения ВЭУ. Рассчитан срок окупаемости автономной системы электроснабжения, себестоимости системы автономного электроснабжения.

Сделан вывод о соответствии спроектированной гибридной системы автономного электроснабжения хозяйственного объекта всем предъявляемым стандартами требованиям и условиям эксплуатации.