

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Политехнический институт.
Факультет Энергетический
Кафедра «Теоретические основы электротехники»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н. профессор

_____ / С.А. Ганджа /

«__» _____ 2019 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РАЗВЕРТЫВАНИЯ ВЕТРОКОЛЕСА МОБИЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.122-204. ВКР

Руководитель, к.т.н., доцент

_____ / А.А. Бакин /

«__» _____ 2019 г.

Автор

Студент группы П-474

_____ / А.З. Кулганатов /

«__» _____ 2019 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____ / А.А. Бакин

«__» _____ 2019 г.

					13.03.02.2019.288 ПЗ ВКР					
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Технологический комплекс развертывания ветроколеса мо- бильной энергетической уста- новки	Лит.			Лист	Листов
Разраб.		Кулганатов				В	К	Р	4	75
Пров.		Бакин				ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «ТОЭ»				
Н. контр.		Бакин								
Утв.		Бакин								

АННОТАЦИЯ

Кулганатов А.З. Технологический комплекс развертывания ветроколеса мобильной энергетической установки. – Челябинск, ЮУрГУ, П; П-474; 2019, 75 с, 37 ил., 14 таблиц, библиогр. список – 36 наим.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка технологического комплекса развертывания мобильной энергоустановки. Мобильная энергоустановка – это комплекс на базе возобновляемых источников питания, который установлен на автотранспорт. Этот комплекс решение любых электроэнергетических проблем, где бы они не возникли. Научная новизна данного проекта состоит в том, что была спроектирована и рассчитана электромеханическая часть ветроэнергетической установки. Ввиду того, что источниками питания для потребителей энергии являются ВИЭ, решается двойная задача, во-первых, повышение надёжности электроснабжения, и во-вторых сохранения природы этих регионов. Также достоинствами комплекса является, во-первых, то что он будет масштабируемым, т.е. для создания требуемой мощности, возможно применение нескольких установок, во-вторых, энергоустановка будет полностью передвижным, и ее применение ограничится не только для питания децентрализованных потребителей, а также в местах крупных аварий, при повреждение и отключение основного электроснабжения.

В ВКР подробно проанализирован мировой рынок ветроэнергетики за 2018 год. Описаны проблемы электроснабжения децентрализованных зон, а также возможности их устранения. Приведены зарубежные аналоги мобильной энергоустановки. Произведен обзор существующих механизмов и приводов подъема. Также была построена имитационная модель мобильной энергоустановки в программной среде SolidWorks.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЗОР МИРОВОЙ ВЕТРОИНДУСТРИИ ПО ДАННЫМ ЗА 2018 ГОД	11
1.1 Обзор мировых рынков.....	11
1.2 Выводы по разделу 1	14
2 ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН	15
2.1 Проблемы в энергообеспечении отдаленных потребителей	15
2.2 Использование дизельных электростанций.....	21
2.3 Возможности применения возобновляемой энергетики	23
2.4 Выводы по разделу 2.....	27
3 НЕДОСТАТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	29
Выводы по разделу 3	31
4 ЗАРУБЕЖНЫЕ АНАЛОГИ МОБИЛЬНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ	32
Выводы по разделу 4.....	39
5 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА.....	41
5.1 Сравнительный анализ подъемных механизмов.....	41
5.2 Выводы по разделу 5.....	49
6 ВЫБОР ПРИВОДА ДЛЯ ПОДЪЕМА РОТОРА ВЕТРОКОЛЕСА.....	50
6.1 Асинхронные электродвигатели	51
6.2 Двигатели постоянного тока	52
6.3 Гидравлический привод.....	54
6.4 Тепловой привод.....	55
6.5 Выводы по разделу 6.....	55
7 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	57
7.1 Выбор электродвигателя.....	57
7.2 Построение механической характеристики двигателя.....	58
7.4. Расчет двигателя в программе Harad.....	59
7.4 Выбор преобразователя напряжения.....	61
7.5 Выбор аккумуляторной батареи	62
7.6 Выводы по разделу 7.....	64

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		6

8	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SOLIDWORKS	65
8.1	Процесс построения	65
8.2	Выводы по разделу 8.....	70
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	72

ВВЕДЕНИЕ

Российская федерация, является самой большой страной мира по территории, согласно последним данным площадь нашей страны занимает 17 124 442 км² (вместе с республикой Крым). Однако, с точки зрения электроснабжения, зоны децентрализованного энергоснабжения занимают около 60% территории и в основном это регионы крайнего севера и Дальнего Востока. К основным причинам, приведшим к проблеме электроснабжения таких регионов относят: недопустимый износ производственного оборудования на электростанциях и других энергетических объектах, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500-600 г у.т./кВт•ч при КПД 20-25 %), дальность, многозвенность и ограниченность процесса сезонного завоза топлива в труднодоступные районы, приводящие к высоким потерям и многократному его удорожанию. Тогда, для обеспечения электрической энергией потребителей, расположенных в децентрализованных зонах электроснабжения, необходимо рассматривать целый комплекс технических решений, который должен удовлетворять экономическим, техническим, экологическим и др. требованиям, быть гибкими, надежными и безопасными. Безусловно, прокладывать высоковольтную ЛЭП, для электроснабжения отдаленных и малонаселенных сёл, городов и производств не представляется возможным с экономической, и технической точек зрения. Одним из возможных решений данной проблемы является использование дизельных или бензиновых генераторов, которые обладают рядом преимуществ и позволяют добиться поставленных целей по бесперебойному электроснабжению отдаленных потребителей. Однако, при рассмотрении обеспечения электроэнергией потребителей, имеющих первую (или первую особую) категорию по надежности электроснабжения, нельзя ограничиваться только одним источником энергии. При выходе из строя дизель-генератора может возникнуть существенный финансовый ущерб, опасность жизни людей и безопасности страны. Также дизель-генераторы обладают рядом недостатков, которые будут описаны в одной из следующих

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		8

глав В таком случае, возникает вопрос о создании дополнительных источников питания для таких объектов.

Параллельно с вопросом обеспечения электрической энергией отдаленных потребителей возникает вопрос об использовании возобновляемых источников энергии. Ни для кого не секрет, что ресурсы традиционных источников энергии (нефть, газ, уголь) не вечны, и вопросы о замене их на ВИЭ являются приоритетными не только для ученых многих стран мира, но и также является важной государственной задачей. Еще в 2017 году в ходе «Российской энергетической недели», президент России Владимир Путин заявил: "Зоны децентрализованного энергоснабжения составляют более 75% от общей территории Дальнего Востока. К ним относятся практически все населенные пункты побережья, удаленные от больших городов, континентальная "глубинка", почти весь Север и островные территории. <...> Ветроэнергетика, как способ решения проблемы электроснабжения населения, безусловно, перспективна, но правильнее было бы говорить о комплексном использовании альтернативных источников энергии". Таким образом, необходимо решать двойную задачу – во-первых это решение проблемы обеспечения качественного электроснабжения децентрализованных потребителей, а во-вторых максимальное комплексное использование возобновляемых источников питания, взамен традиционных.

Ввиду вышеизложенного была принята идея создания мобильного энергетического комплекса, с применением ветросолнечной генерацией энергии. Основное предназначение этого комплекса энергоснабжение удаленных районов - там, где идет разработка полезных ископаемых, метеорологические исследования, крупное промышленное или инфраструктурное строительство. А также для снабжение небольших городов и поселков. Отличительной чертой является то, что энергетический комплекс устанавливается на транспорт общего назначения, и является полностью передвижным. Так же использование комплекса на базе ВИЭ, в отличие от сжигания угля, природного газа и нефтепродуктов, не влечет эмиссию парниковых газов, и не несет никакой угрозы для окружающей среды, что является довольно

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		9

актуальной проблемой, как в нашей стране, так и во всем мире. Энергокомплекс в походном состоянии должен соответствовать техническим требованиям (ограничение определенной длины, ширины, а также высоты, нормированными в соответствии с законами РФ) общего автотранспорта. Ввиду этого механизм подъема ветрогенератора на оптимальную высоту, для обеспечения максимального использования энергии ветра мобильного энергокомплекса, должен иметь складную конструкцию. Что является одной из основных проблем для разработчиков. В данной работе будет выбран и рассчитан оптимальный механизм подъема ветрогенератора, а также рассчитан привод подъема.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		10

1 ОБЗОР МИРОВОЙ ВЕТРОИНДУСТРИИ ПО ДАННЫМ ЗА 2018 ГОД

Для анализа ситуации в мировой ветроиндустрии воспользуемся рядом отчетов Мировой ассоциации ветроиндустрии (The World Wind Energy Association, WWEA [1]).

По данным [1] роль возобновляемых источников в общемировой выработке электроэнергии растет с каждым годом. Ряд стран уже достиг равновесия в своих энергетических системах между углеродной и постуглеродной энергетикой, однако эта ситуация не стабильна. Рассмотрим данные по установленным в 2018 г. ветровым мощностям.

1.1 Обзор мировых рынков

Мощность ветроэнергетики в мире достигла 600 ГВт к концу 2018 года. 53,9 ГВт было добавлено в течение 2018 года. Общая тенденция, следующая: Китай вновь стал лидером по добавленной мощности с более чем 200 ГВт общей мощности, США близки к 100 ГВт, рынки Европы оказались в упадке и не показали большого роста.

Согласно предварительным статистическим данным, опубликованным, 25 февраля 2019 года, общая мощность всех ветряных турбин, установленных в мире к концу 2018 года, достигла 600 ГВт. В 2018 году были добавлены 53900 МВт, что немного превысило добавленную мощность в 2017 году, когда было добавлено 52552 МВт. 2018 год был вторым годом подряд с ростом числа новых установок, но с меньшими темпами, составившими 9,8%, после роста на 10,8% в 2017 году. Все ветряные турбины, установленные к концу 2018 года, могут покрыть почти 6% глобального спрос на электрическую энергию [2].

2018 год характеризовался, в основном, следующей динамикой: европейские ветровые рынки находились в упадке, т.е. большинство европейских стран демонстрировали слабое развитие, в том числе Германия, Испания, Франция и Италия. В

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		11

то же время, устойчивый или даже более сильный рост наблюдался в таких странах, как Китай, Индия, Бразилия, на многих других азиатских рынках, а также в некоторых африканских странах.

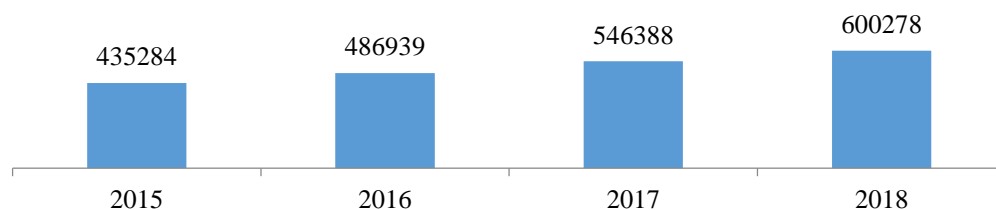


Рисунок 1.1 – Суммарная установленная мощность, МВт

Крупнейший рынок ветроэнергетики – Китай, установил дополнительную мощность в размере 25,9 ГВт и стал первой страной с установленной мощностью ветра более 200 ГВт. После 2017 года, когда был установлен относительно скромный уровень в 19 ГВт, он вернулся на путь роста. Китай по-прежнему остается бесспорным лидером в мире в области ветроэнергетики, суммарная мощность которого на конец 2018 года составляет 221 ГВт [3].

На втором по величине рынке в мире – США, с добавлением новой мощности с 6,7 ГВт в 2017 году до 7,6 ГВт в 2018 году, несмотря на менее амбициозные национальные энергетические цели. Это позитивное развитие событий, безусловно, является не только результатом экономического роста рынков ветроэнергетики, но также сильной и всесторонней поддержки на государственном и муниципальном уровнях. Вскоре, США может стать второй страной после Китая, которая достигнет установленной мощности более 100 ГВт.

Кроме США, которая достигла мощности в 96 ГВт, хороший рост показывают Германия (новые 3,1 ГВт, всего 59 ГВт), Индия (добавлено 2,1 ГВт на конец ноября 2018 года, суммарная мощность 35 ГВт) Великобритания (2,9 ГВт, суммарно 20,7 ГВт), Бразилия (1,7 ГВт, всего 14,5 ГВт) и Франция (1,5 ГВт, итого 15,3 ГВт). Данные по суммарной установленной мощности в ряде лидирующих стран отражены в таблице 1

Таблица 1.1 – Установленная мощность в лидирующих странах в сфере ветроэнергетики, МВт

Страна	2018	2017	2016	2015
Китай	221630	195730	168730	148000
США	96363	88775	82033	73867
Германия	59313	56190	50019	45192
Индия	35017	32879	28279	24759
Испания	23031	23026	23020	22987
Великобритания	20743	17852	14512	13614
Франция	15313	13760	12065	10293
Бразилия	14490	12763	10800	8715
Канада	12816	12239	11898	11205
Италия	10090	9700	9257	8958
Остальной мир	91473	83473	76325	67695
Суммарная мощность	600278	546388	486939	435284

Стефан Гсэнгер, генеральный секретарь WWEA сообщил, что «Глобальная перестройка энергетической системы на возобновляемую энергетику идет полным ходом, и ветроэнергетика является главной силой в этом развитии, став опорой для экологически чистого энергоснабжения во всем мире. Некоторые страны добились очень хороших результатов, в ускорив темпы развития ветроэнергетики. Такой рост необходим не только для достижения целей Парижского соглашения об изменении климата и планов в области устойчивого развития возобновляемых источников энергии, но и для того, чтобы каждая страна могла в полной мере участвовать в социально-экономических преимуществах использования нетрадиционной энергетики.

В этом смысле неприятным фактом является то, что Европа, похоже, сбилась с пути в плане установки новых ветроэнергетических установок. С другой стороны, вселяет надежду то, что Европа, похоже, понимает важность подходов гражданского общества, уделяя особое внимание моделям власти для потребителей и сообщества. Учитывая растущие потребности в генерации электроэнергии для секторов транспорта и отопления/охлаждения, модели, поддерживающие самостоятельное потребление возобновляемой энергии и расширяющие возможности граждан, должны распространяться повсеместно в мире. Граждане в промышленно развитых

и развивающихся странах получают огромную выгоду от таких политических программ [1,4]».

1.2 Выводы по разделу 1

Проведенные данные показывают, что крупнейшим в мире рынком ветроэнергетики является Азия. Введенные на этой территории мощности составляют около половины мощности, добавленной во всем мире. Другая половина приходится на страны Европы, Северной Америки, Африки. На некоторые крупнейшие рынки влияют политические и экономические трудности, тем не менее, на мировом рынке наблюдается рост установленной мощности ветроэнергетических электростанций, что обусловлено экономической конкурентоспособностью, усилением мер по охране окружающей среды и рядом других факторов. Отметим, что энергия ветра в мире стала одним из наиболее привлекательных вариантов благодаря небольшим затратам на введение новых генерирующих мощностей.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		14

2 ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН

На территории Российской Федерации существует большое количество потребителей электрической энергии (малые города, поселки, предприятия, установки по добыче полезных ископаемых), которые расположены в районах, изолированных от существующих электросетей. Нередко энергоснабжение таких объектов осуществляется с перебоями. Следовательно, при возведении новых отдаленных потребителей необходимо рассматривать источники автономного энергообеспечения. Большинство таких потребителей располагаются в районах Дальнего Востока и Сибири и от общей площади страны такие территории достигают около 70% [5]. Проблема бесперебойного и качественного электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей остается важной в техническом, социальном и экономических аспектах. Негативным последствием такой проблемы стало упразднение более 11 тыс. поселений в России за последние 10 лет.

«Обеспечение энергетической безопасности страны», в том числе благодаря бесперебойному и качественному «электроснабжению в ряде удаленных регионов и в районах с низкой плотностью потребителей» - один из главных ориентиров государственной политики, который отражен в энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года [6].

2.1 Проблемы в энергообеспечении отдаленных потребителей

На сегодняшний день обеспечивать электрической энергией такие регионы возможно путем дорогостоящего строительства ЛЭП со всей сопутствующей инфраструктурой, либо использовать передвижные или стационарные дизельные электростанции (ДЭС). Существует также и третий вариант – использование возобновляемых источников энергии.

По данным [7] имеет место схема, позволяющая классифицировать территорию Российской Федерации по степени обеспеченности топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и по степени централизации. Схема представлена на рисунке 1.

Распределенная генерация электрической энергии может существовать как полностью автономно, так и работать параллельно с сетью. При параллельном режиме работы предполагается учет большого количества технических требований, которые выдвигают субъекты энергосистем. Также немаловажным фактором является то, что при параллельной работе влияние энергетической системы на объекты малой генерации будет значительным. Аварийные возмущения в сети, всевозможные короткие замыкания могут привести к частым отключениям генераторных установок, а это может привести к дополнительному износу оборудования (в таком случае происходят термонапряженные состояния силовых агрегатов в дизельных генераторах).

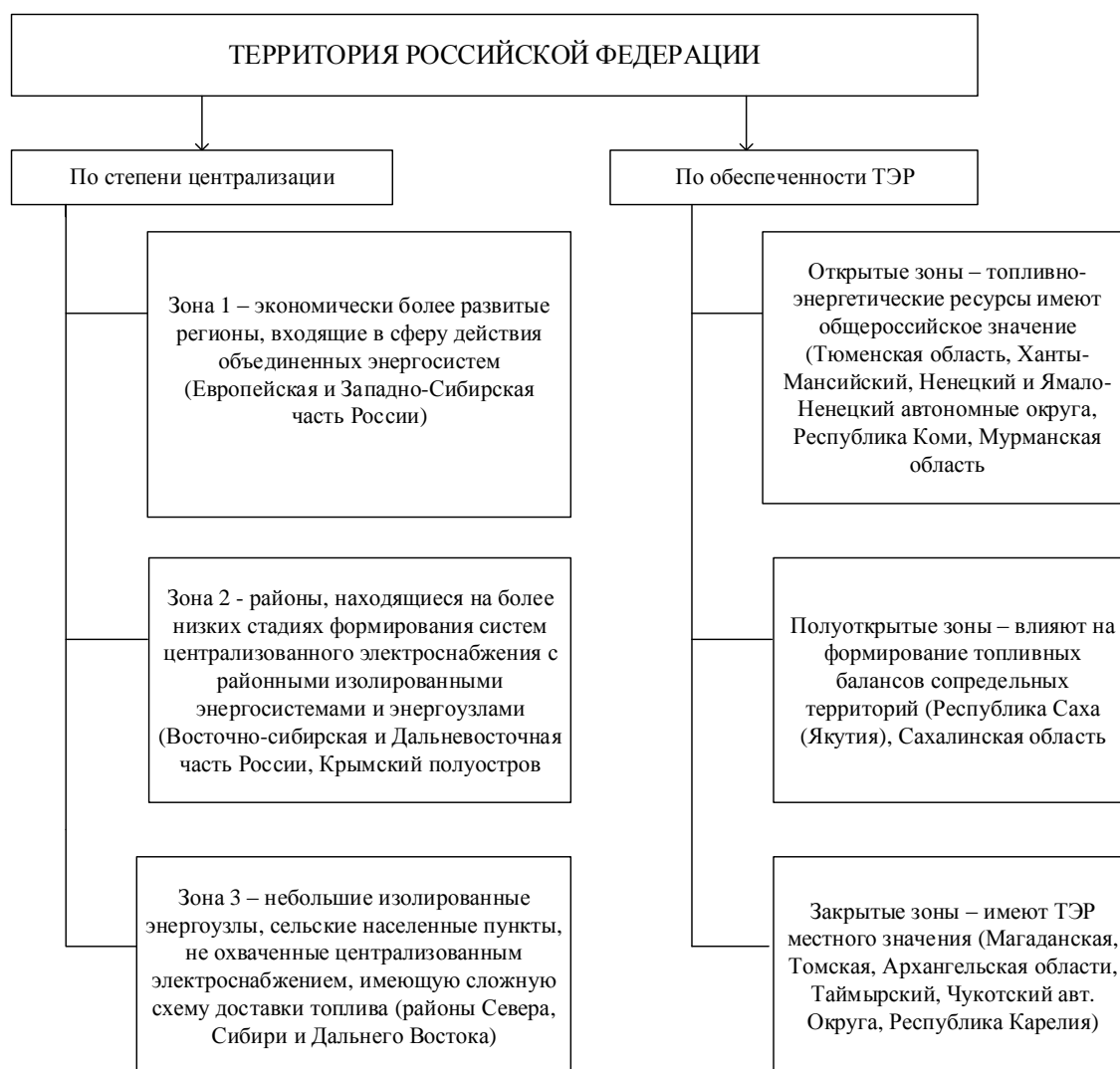


Рисунок 2.1 – Классификация территорий России по степени централизации и обеспеченности топливно-энергетическими ресурсами

В случае если генерирующие электрическую энергию установки автономных потребителей работают изолированно от энергосистемы, существует угроза полного прекращения работы электростанции. В такой ситуации собственник энергоустановки имеет несколько вариантов осуществления электроснабжения производств или населенных пунктов: либо остается связь с энергосистемой для дополнительного резервирования (при этом допускается кратковременный переход на параллельную работу в вынужденных ситуациях), либо требуется установка дополнительных резервных генераторов.

Чтобы определить экономическую целесообразность подключения потребителя к энергосистеме или использовать дизельную электростанцию, необходимо учесть электрические нагрузки потребителей, тарифы на электрическую энергию в системе энергосбыта, степень удаленности потребителей от энергоисточника, а также стоимость дизельного топлива и технико-экономические показатели ДЭС.

Выведем формулы для сравнения альтернативных вариантов

$$Z_{\text{пр}}^{\text{ЛЭП}} = Z_{\text{пр}}^{\text{ДЭС}} \quad (2.1)$$

Здесь $Z_{\text{пр}}^{\text{ЛЭП}}$ и $Z_{\text{пр}}^{\text{ДЭС}}$ являются приведенными затратами для вариантов подключения к существующему энергоузлу или использования дизельной электростанции.

$$\begin{aligned} Z_{\text{пр}}^{\text{ЛЭП}} &= E \cdot (k^{\text{ЛЭП}} \cdot L^{\text{ЛЭП}} + K^{\text{ТП}}) + I_{\text{пост}}^{\text{ЛЭП}} + I^{\text{ТП}} + T^{\text{ЭС}} \cdot W \\ Z_{\text{пр}}^{\text{ДЭС}} &= E \cdot k^{\text{ДЭС}} \cdot N^{\text{ДЭС}} + I_{\text{пост}}^{\text{ДЭС}} + c_{\text{т}}^{\text{ДЭС}} + B_{\text{т}}^{\text{ДЭС}}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$k^{\text{ЛЭП}}$ и $k^{\text{ДЭС}}$ – удельные капиталовложения в возведение ЛЭП и ДЭС соответственно;

$K^{\text{ТП}}$ – суммарные капиталовложения на возведение трансформаторных подстанций;

$L^{\text{ЛЭП}}$ – длина распределительной линии электропередач;

$I_{\text{пост}}^{\text{ЛЭП}}$, $I^{\text{ТП}}$, $I_{\text{пост}}^{\text{ДЭС}}$ - ежегодные издержки на ЛЭП, трансформаторные подстанции и дизельную электростанцию (включает в себя заработную плату на обслуживание, отчисления на амортизацию, текущие ремонты и прочие эксплуатационные затраты);

$t_3^{\text{ЭС}}$ - тариф на электрическую энергию в энергосистеме;

W – потребность в электроэнергии с учетом потерь;

$N^{\text{ДЭС}}$ – мощность дизельной электростанции;

$c_t^{\text{ДЭС}}$ - стоимость дизельного топлива для потребителя;

$V_t^{\text{ДЭС}}$ - годовой расход топлива при использовании дизельной электростанции.

К основным проблемам при электроснабжении удаленных потребителей можно отнести: низкое качество электрической энергии, недостаток инвестиций, неоптимальность систем энергообеспечения, сильный износ энергетического оборудования, большие расстояния от центров снабжения и обслуживания, рост цен на топливно-энергетические ресурсы, и, как следствие, увеличение объема дотаций из областных бюджетов на закупку и доставку топлива [5,6]. При этом из федерального и регионального бюджетов выделяются огромные суммы на организацию так называемого «северного завоза» топлива и на покрытие кассовых разрывов, вызванных необходимостью в заблаговременном кредитовании закупок и транспорта топлива. Так, у наиболее удаленных от энергосистемы потребителей около 75% стоимости топлива является цена его доставки. Кроме того, около 60% генерирующего оборудования эксплуатируется уже более 30 лет, а процесс введения новых мощностей, к сожалению, обеспечивает замену отработавшего ресурс оборудования без осуществления прироста установленной мощности. В таблице 2.1 отразим основное распределение децентрализованных объектов по мощностям.

Таблица 2.1 – Энергетические нагрузки по категориям потребителей

Требуемая мощность, кВт	Объекты электроснабжения
0,1 -1	Автономное освещение, ретрансляторы, метеостанции

Продолжение таблиц 2.1

1-10	Индивидуальные поселения, погранзаставы, телекоммукационные системы
10-100	Деревни, села, посёлки, туристические лагеря
До1-2 тыс	Промышленные предприятия, крупные населенные пункты

Рассмотрим преимущества и недостатки режимов изолированной от ЕЭС России работы.

Преимущества:

1) Отсутствие подключения к энергосистеме может решить проблему с ограничениями в электроснабжении из-за возникновения системных аварий, КЗ вблизи источника генерации и нагрузок, а также от других внешних воздействий. Ни для кого не секрет, что энергетическое оборудование малой мощности очень чувствительно к внешним возмущениям, из-за этого, при параллельной работе с системой могут возникать перебои в электроэнергии ввиду срабатывания защит генераторов.

2) Процесс технологического присоединения новых потребителей к сетям может занимать длительное время. Например, в электрических сетях больших энергоузлов есть районы, закрытые для присоединения новой нагрузки ввиду отсутствия свободных резервов мощности на трансформаторных подстанциях, а также при недостатке в пропускной способности ЛЭП.

3) Часто в роли изолированного потребителя выступают месторождения полезных ископаемых, например, нефтегазовые установки. Для них главным стимулом к вводу собственного источника электрической энергии является государственная экологическая политика. Например – сжигание попутных нефтяных газов облагается большим штрафом. Процесс утилизации вторичных ресурсов путем использования установок малой генерации и использования в качестве топлива для них попутный газ может снизить штрафы. Ввиду того, что количество новых месторождений растет с каждым годом, возможно рассмотрения создания малых независимых энергосистем, не связанных с ЕЭС.

Недостатки:

1) Если объект автономного электроснабжения электрически связано с системой в качестве дополнительного источника снабжения, то при отключениях собственной генерации может возникнуть незапланированный наброс нагрузки на сети энергосистемы, в результате чего возможна перегрузка, срабатывание защит и последующее отключение оборудования.

2) Каждый потребитель электрической энергии имеет свой типовой график нагрузки, который характерен явными максимума и минимумами потребления электроэнергии. В зависимости от технологического процесса возможна ситуация, при которой необходимо отключения части нагрузок в часы минимума по условию устойчивого сжигания топлива в котле. Такие отключения могут привести к сокращению срока службы установок

3) При рассмотрении в качестве удаленного потребителя промышленного предприятия можно сделать вывод о том, что основные потребители электроэнергии – электрические двигатели. Из теории электропривода известно, что момент на валу двигателя пропорционален квадрату напряжения питания. В связи с этим, в изолированных системах устройство малой генерации должно быть оснащено приборами по контролю и поддержанию частоты и напряжения [8].

С другой стороны, проанализируем обоснованность подключения к ЕЭС России до недопустимости отклонения напряжения между источником и потребителем более чем на 5% от номинального значения. Тогда, для расчета максимальной длины линии электропередач L для распределительного напряжения 6 или 10 кВ, согласно формуле, составит:

$$L = \frac{\gamma F U_{\text{ном}} \Delta U}{P_{\text{ном}}}, \text{ км} \quad (2.3)$$

где γ – удельная проводимость материала провода;

F – сечение провода;

ΔU – допустимая потеря напряжения ($U_{\text{ном}} = 5\%$);

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение (6 или 10 кВ);

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электроприемника.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		20

Традиционно, удельное сопротивление алюминиевого провода для сельских распределительных сетей для выбранного уровня напряжения равняет $\gamma = 32,2$ Ом·м/мм². Сечение провода с одной стороны определяют по механической прочности для противостояния ветровым нагрузкам, обледенению, с другой – электрическими нагрузками ЛЭП. Т.к., мощность удаленных потребителей, согласно таблице 1, незначительна, то первостепенным фактором в выборе сечения является именно механическая прочность. Тогда, для сечения провода при установленной мощности до 160 кВт выбираем сечение провода $F=16$ мм². В связи с этим, произведем расчет максимальной длины линии электропередач при работе с допустимой потерей напряжения в 5%. Данные расчета занесем в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Расчет максимальной длины ЛЭП L в зависимости от нагрузки P на уровнях напряжениях 6 и 10 кВ

P, кВт	25	50	100	200	500	1000
L (6 кВ), км	61	30	15	7	3	1,5
L (10 кВ), км	103	51	25	12	5	2,5

Таким образом, из таблицы 2.2 видно, что электроснабжение от центральных электросетей потребителей мощностью 200 кВт (сёла и посёлки) ограничивается на расстояние около 10 км. Строительство же ЛЭП на более высоком классе напряжения (35 или 110 кВ) при малых мощностях нецелесообразно из-за низкого коэффициента загрузки по мощности и значительных капиталовложений в строительство трансформаторных подстанций. Следовательно, производить дальнейшие расчеты характеристик линий электропередач, работающих в режиме, близкому к режиму холостого хода, абсурдны [9].

2.2 Использование дизельных электростанций

На сегодняшний день, по некоторым оценкам ученых, в России эксплуатируются более 7 тыс. дизельных электростанций, на работу которых ежегодно тратится более 7 млн. тонн топлива [10,11]. Так, по некоторым сведениям, стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, выработанной дизельными электростанциями мощностью

до 100 кВт в отдаленных регионах Якутии, куда доставка топлива сопровождается значительными экономическими затратами, достигает от 25 до 60 руб./(кВт·ч). Не сложно рассчитать дороговизну такого топлива по сравнению со средней стоимостью электрической энергии в Центральном регионе России, равной 4,5 руб./(кВт·ч) [12]. Таким образом, на сегодняшний день большинство источников для энергоснабжения удаленных потребителей, особенно северных регионов является крайне убыточным мероприятием, т.к. себестоимость электрической энергии оказывается значительно выше тарифа, который устанавливается для населения. При этом до 90% затрат покрывается за счет областных и региональных бюджетов [13,14,15].

Мощность дизельных электростанций, обеспечивающей электрической энергией отдаленных потребителей, обычно определяется «пиковой мощностью», т.е. с запасом в 20-30%. Такая мощность определяется графиками нагрузок (т.е. ее локальными суточными максимумами). В остальное время суток, либо в выходные дни, фактически потребляемая мощность значительно меньше пиковой. Однако, согласно [16], работа дизельных генераторов на неноминальную нагрузку значительно увеличивает износ оборудования, т.е. неравномерность потребления приводит к существенному недоиспользованию установленной мощности ДЭС. Отсюда возникает снижение КПД, что ведет к увеличению удельного расхода топлива на выработку 1 кВт·ч электрической энергии.

Ко всему вышесказанному можно добавить тот факт, что традиционная энергетика является одним из основных загрязнителей воздуха. Электро- и теплостанции, которые работают на угле и газе вносят около 30% объема загрязнений атмосферы. Также, сгорание топлива напрямую связано с парниковым эффектом, о котором говорят еще с конца прошлого столетия и пытаются сдерживать негативные факторы данного эффекта благодаря Киотскому протоколу.

После всего вышесказанного можно сделать вывод: проблема в электроснабжении удаленных потребителей есть и ее нужно решать, как можно скорее. Необходи-

димо выработать четкую стратегию в решении данной проблемы. Технологии, которые будут при этом применяться, должны быть высокоэффективными, современными, отвечать всем климатическим требованиям, иметь улучшенные конструкционные качества и оказывать минимальное воздействие на окружающую среду. Выход в данной ситуации один – уже сегодня начинать внедрять новые технологии «зеленой энергетики», о которой мы уже говорили выше.

2.3 Возможности применения возобновляемой энергетики

Действительно, согласно энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года предусмотрено развитие технологий использования возобновляемых источников энергии, как для электроснабжения, так и для теплоснабжения потребителей, подключения которых к единой энергосистеме не представляется возможным.

Наиболее интересная особенность при рассмотрении данного вопроса – почему ВИЭ так и не решили полностью проблему энергоснабжения изолированных потребителей? Ведь территория Российской Федерации – самая большая в мире, соответственно, и потенциал у экологически чистой энергии должен быть если не самым большим, то одним из самых больших. В большинстве субъектов имеются два и более вида ВИЭ. Но, к сожалению, эти ресурсы используются незначительно. Действительно, «зеленая энергетика» имеет свои недостатки, которые не дают ей развиваться и решать затронутые в статье проблемы. Помимо богатства в ресурсах ВИЭ, Россия также богата и запасами традиционного топлива. Но, если смотреть на эту ситуацию не сегодняшним днем, а в долгосрочной перспективе, то рано или поздно, нефть, газ и уголь закончатся и тогда сегодняшние проблемы в использовании нетрадиционных источников энергии, несомненно, отойдут на второй план. Несомненно, в будущем возобновляемые природные энергоресурсы будут доминировать в энергобалансе мира. Так почему же не решать две пересекающиеся и актуальные проблемы совместно?

Европейский Совет по возобновляемой энергетике (European Renewable Energy Council), основываясь на ожидаемом ежегодном росте различных технологий в сфере «зелёной энергетике» предположил, что доля ВИЭ в мировом энергобалансе к 2040 году может достигать до 50%. Чтобы достигнуть такого значительного показателя требуется применять надежную и разумную политику поддержки и государственного стимулирования в развитии возобновляемых природных ресурсов во многих странах.

При внедрении в удаленные регионы новых технологий, основанных на использовании природных возобновляемых ресурсов возможно в значительной степени решить проблему в энергоснабжении децентрализованных зон, уменьшить затраты бюджета на поставку и закупку топлива для ДЭС. Однако главный недостаток ВИЭ – их непостоянство во времени и пространстве, который приводит к неравномерности выработки электрической энергии, колебаниям выходной мощности, зависимости выработки от метеоусловий. В связи с этим требуется комбинировать возобновляемые источники между собой, либо с генератором на жидком топливе. Однако универсальные устройства для комбинирования на данный момент не распространены. Они должны обеспечивать возможность объединения разнотипных энергоустановок с возможностью эффективного управления режимами их работы. Основными достоинствами работы таких установок должно стать максимальное использование ресурсов ВИЭ, накопительных элементов для экономии топлива дизельных электростанций, которые будут вырабатывать недостающую мощность для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей [17].

Такая гибридная система чаще всего включает в себя два самых распространенных элемента – ветрогенератор и солнечные батареи. Для повышения надежности в качестве резерва возможно использование дизельных генераторов. Также будет разумным решением разделить понятия «приемник электрической энергии» и «потребитель электрической энергии». Под «потребителем» будем понимать человека, который использует для осуществления своей жизнедеятельности те или иные

«приемники» электрической энергии. В классическом понимании только потребитель обладает возможностью и правом принятия решения на использования электрической энергии тем или иным приемником. Разделение этих понятий позволит в дальнейшем более гибкого решения вопросов необходимости использования того или иного приемника в данный момент времени.

Рассмотрим конкретный пример такой гибридной системы. С электрической точки зрения она может быть однофазной или трёхфазной. Обычно, ветроэнергетическая установка и фотоэлектрические панели преобразуют энергию на постоянном токе на одном напряжении и через контроллер заряда осуществляют зарядку аккумуляторных батарей. В тот момент, когда происходит максимальный спрос на электрическую энергию (часы максимума), а также когда глубина разрядки аккумуляторов приближается к минимальному значению, происходит автоматический запуск дизельного генератора для бесперебойного электроснабжения потребителей. При необходимости преобразования постоянного тока в переменный предусмотрим инвертор (однако в последнее время стали ученые начали разработку бытовых приборов на постоянном токе). В таком случае возможно избежать потерь энергии в инверторе. На рисунке 2.2 представим возможную схему для автономного электроснабжения объекта.

Если учитывать высокую рассредоточенность потребителей и доступность возобновляемых источников энергии для потребителей, а также возможность аккумуляции энергии, особенно привлекательным становится электроснабжение на основе ВИЭ небольших объектов. Например, для электроснабжения дома площадью 160 м², достаточно реализовать систему, состоящую из солнечных панелей мощностью 1 кВт, ветрогенератора мощность 1,5-2 кВт и резервного дизельного генератора мощность 4-5 кВт, и 6-8 литий-ионных аккумуляторов емкостью 185 А/ч каждый. [18].

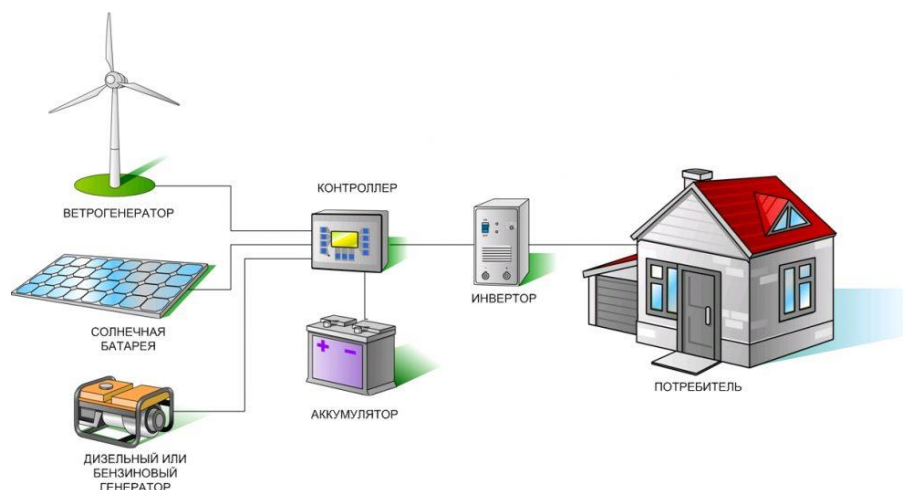


Рисунок 2.2 – Гибридная схема электроснабжения автономного потребителя

Однако вполне реальной может оказаться ситуация, при которой энергоснабжение требуется кратковременно (например, для строительства объекта добычи полезных ископаемых, геологических изысканий на местности), либо объект для передвижения является передвижным (специальная техника, обеспечивающая безопасность нашей страны). В таком случае необходимо мыслить шире статичных систем и задумываться о разработке передвижных электростанций, но также с использованием возобновляемых источников энергии. При разработке такого сложного механизма необходимо определить основные требования к конструкции, а также подобрать оптимальную конфигурацию и укомплектование энергокомплекса. «Комплексом» данная мобильная установка может называться вследствие необходимости обеспечения наиболее стабильной выработки электроэнергии от нескольких источников. В таком случае необходимо использовать ряд энергоустановок на базе ВИЭ, а также иметь в резерве дизельную электростанцию в качестве вспомогательного (резервного) источника питания ввиду непостоянства ветро-солнечной энергии. В большинстве регионов приход солнечной и ветровой энергии находится в противофазе (т.е при сильном ветре обычно нет солнца, а при ярком солнце безветрие) [19]. Также необходимо отметить тот факт, что в летнее время основная выработка приходится на фотоэлектрические панели, а зимой – на ветро-

энергетический генератор. Интересной задумкой ученых Южно-Уральского государственного университета [20] стало размещение энергокомплекса внутри фургона или контейнера с последующей его транспортировкой к потребителю путем использования автомобильного транспорта. При этом энергокомплекс можно назвать масштабируемым – не исключена возможность использования сразу нескольких установок на одном объекте для достижения требуемой мощности.

2.4 Выводы по разделу 2

На сегодняшний день рыночные сигналы и административные барьеры по подключению новых потребительских нагрузок делают строительство потребителям собственной генерации более выгодным, чем присоединение к энергосистеме с последующей покупкой тепловой или электрической энергии. Это, в свою очередь, приводит к увеличению числа установок, которые работают изолированно от Единой энергетической системы Российской Федерации. Обеспечение экономичного, надежного, бесперебойного и, самое главное, экологически чистого электроснабжения изолированного потребителя является приоритетной и весьма сложной задачей для собственников энергоустановок.

Несмотря на высокие темпы в развитии локальной генерации с использованием возобновляемых источников энергии при их комбинированной работе, учитывая разработки нормативной и законодательной базы, сегодня, практическая реализация проектов по энергоснабжению удаленных потребителей реализуется в небольших масштабах, что, к сожалению, не может полностью решить проблему их энергообеспечения. Несомненно, решение о целесообразности использования того или иного природного возобновляемого источника энергии в любом регионе должно быть обосновано экономически. Анализировать энергоэффективность при использовании нетрадиционных видов энергии необходимо только на основе системного подхода, который будет учитывать потенциал природного энергоресурса и совре-

менные технико-экономические возможности при его использовании. Окончательное решение при выборе оптимального источника должно учитывать экологические и социальные аспекты в проблеме энергоснабжения потребителей региона.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		28

3 НЕДОСТАТКИ ДЕЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

На практике проблему энергообеспечения автономных потребителей обычно решают путем использования дизельных генераторов. По данным [21], в России, около 96% выработки мощности всей малой энергетики (до 30 МВт) приходится именно на дизельные генераторы. Действительно, у них есть ряд положительных качеств в эксплуатации. Однако такой большой процент от общей выработки мощности в малой энергетике также связан с отсутствием достойных аналогов при рассмотрении электроснабжения децентрализованных потребителей. В главе проанализированы недостатки дизельных генераторов.

Первым существенным недостатком является то, что генераторы на дизельном топливе обладают высокой стоимостью. Например, стоимость качественного дизельного генератора мощностью 3 кВт обойдется потребителю в 90 тысяч рублей [22].

Вторым недостатком является тот факт, что использование дизельного генератора не допускается в холостом режиме из-за высоких рисков износа внутренних узлов. При эксплуатации рекомендуется обеспечивать нагрузку не менее 40% от номинальной мощности. Оптимальная нагрузка – от 40 до 75% от номинальной мощности. Также, при загрузке менее 40% возникает увеличенное топливопотребление, вследствие этого снижается КПД.

Третий недостаток – сильный шум от работающего генератора. Данную проблему можно решить размещением генератора в шумоизолирующий кожух, либо во всепогодный контейнер, но это приводит к увеличению капитальных затрат. Этот фактор может стать особо значимым при работе генератора в местах скопления людей.

Четвертый недостаток – электростанции, работающие на дизельном топливе не совсем надежны при отрицательных температурах окружающей среды. Это связано с тем, что при низкой температуре дизельное топливо начинает кристаллизоваться, его вязкость повышается и происходит ухудшение процесса образования топливо-

воздушной смеси. Из-за этого часть топлива не сгорает в цилиндрах двигателя, и, следовательно, его мощность снижается, а также выходит из строя фильтр тонкой очистки топлива [23]. В таких случаях следует применять специальное «арктическое» дизельное топливо, что приводит к его удорожанию. Влияние температуры окружающей среды может снизить экономичность двигателя на 30%.

Следующий, пятый недостаток – дороговизна эксплуатации, другими словами – высокая стоимость 1 кВт·часа электрической энергии. По данным [24], при электроснабжении загородного дома с использованием дизельного генератора номинальной мощностью 5,5 кВт и стоимостью 35 тыс.руб имеем: при 100% загрузке генератора (расход составляет 2,5 л/час топлива) стоимость 1 кВт·часа составит около 25 рублей.

Шестым недостатком является неоптимизированная схема работы в большинстве дизельных генераторов. На сегодняшний день основная масса генераторов включают в себя дизельный двигатель, синхронный генератор и систему управления, которая регулирует частоту оборотов, и, следовательно, развиваемую мощность генератора, а также ток возбуждения синхронного генератора для стабилизации величины напряжения. В связи с этим проявляется эффект карбонизации, который вызван скоплением в цилиндрах продуктов неполного сгорания топлива, что негативно влияет на ресурсы двигателя.

Седьмой недостаток заключается в высоком уровне выхлопных газов, что ограничивает использование дизельных генераторов в помещениях. Воздух в таком случае наполняется вредными для здоровья человека газами от отработанного топлива.

Восьмой недостаток – неэкологичность дизельных электростанций. Действительно, при их эксплуатации, помимо выхлопных газов, также возможен и разлив дизельного топлива, что влечет за собой ухудшение окружающей среды.

Девятый недостаток – необходимость постоянной дозаправки. Дизельные электростанции не могут быть полностью автономными в работе, т.к. для их работы

необходимо топливо. При этом делать запасы топлива делать часто небезопасно, а дозаправки генератор требует регулярно.

Десятый, один из самых главных недостатков, относится ко всем электростанциям, работающим на традиционном топливе – нефтепродуктах, газе и угле. Ни для кого не секрет, что запасы нашей планеты постоянно истощаются. Таким образом, при общемировом увеличении потребления энергии, об отказе от традиционных источников нужно задуматься уже сегодня.

Дизельные генераторы имеют ряд и других недостатков, неупомянутых в данной статье, а именно: система впрыска топлива подвергает двигатель ударным нагрузкам, что снижает срок службы двигателя, некачественное топливо может вызывать поломки, необходимость высококвалифицированного обслуживания, постоянный рост стоимости топлива и т.д.

Выводы по разделу 3

В связи со всеми вышеприведенными аргументами становится ясно, что дальнейшее использование дизельных генераторов должно снижаться. Альтернативой для таких генераторов могут стать возобновляемые источники энергии.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		31

4 ЗАРУБЕЖНЫЕ АНАЛОГИ МОБИЛЬНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

На данный момент в Сан-Диего компанией «Uprise» ведется разработка ветроэнергетического комплекса (Рисунок 5.1). Прицеп вместе с тягачом помещается в стандартный морской контейнер. По словам производителя, несмотря на компактность, мощность ветряной турбины составляет 50 кВт, что при скорости ветра около 20 км/ч достаточно для энергоснабжения 15 усредненных домашних хозяйств. С увеличением скорости ветра до 32 км/ч увеличивается и производство электроэнергии. Вес мобильной турбины составляет 5,3 тонн. Каждая из пяти лопастей ротора достигает в длину 6,5 метров, общая высота сооружения в собранном виде 24 метра. Телескопическая мачта задвигается в контейнер и выдвигается из него в горизонтальном положении. После горизонтального выдвижения мачты из фургона идет процесс установки лопастей, после чего ветроэнергетическая установка поднимается вверх и занимает свое рабочее положение. Полный подъем ветроустановки в рабочее положение осуществляется в течение одного часа одним человеком (оператором) без применения специальных навыков и оборудования. Благодаря интеллектуальному программному обеспечению, установка постоянно анализирует погодные условия и приспосабливается к максимальному захвату энергии от ветра.



Рисунок 4.1 – Мобильная ветроэнергетическая установка 50 кВт

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		32

Турбина вращается на 360 градусов, для того, чтобы всегда быть направленной по ветру, при этом скорость вращения лопастей настраивается в зависимости от скорости ветра. Если ветер слишком силен, в целях предотвращения поломки турбины, компьютер автоматически останавливает ротор и опускает мачту (Рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Мобильная ветроэнергетическая установка 10 кВт

Таблица 4.1 – Характеристики мобильной ветроэнергетической установки 10 кВт

Параметр	Значение
Конфигурация	5 лезвий, горизонтальной оси
Номинальная мощность	10кВт (11,2 м/с)
Общий вес	3175 кг
Вес лопастей	4 кг каждая
Материал лопасти	усовершенствованный композитный материал из углеродного волокна
Диаметр ротора	6,6 м
Обеспечение безопасности	Система гашения вибраций, устойчивость к нагрузкам и наклонам, мониторинг погоды, дисковый тормоз
Гарантия	5 лет
Длина прицепа	2,4 м

Для более суровых условий, например, для мобилизации в Арктике, необходимо уделить большое внимание проходимости и прочности конструкции, а также устойчивости при воздействии суровых температур, например, как это сделали в компании «Pore Design», создавая данный концепт мобильной ветроустановки (Рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Мобильная ветроэнергетическая установка

Создатели планировали заменить своей разработкой источники автономного питания во время военно-полевых операций, миссий оказания помощи, пострадавшим от природных бедствий или даже для проведения рок-концертов.

Мобильная ветровая турбина имеет уникальную самоустанавливающуюся конструкцию, состоящую из двух частей, которые свертываются для удобства при транспортировке. Ветроэнергетическая установка разворачивается подобно ножницам с помощью гидравлического привода, расположенного на базе тягача. Для облегчения веса установки основные части конструкции сделаны из легкого материала – экструдированного термопласта. После того, как установка поднята на высоту, тягачу придается необходимая устойчивость в виде выдвигающихся распорок, тем самым превращая мобильную установку в стационарный источник электроэнергии.

«Solar Lighting Trailers™» также предлагают отказаться от шумных дизель-генераторов в пользу бесшумных и экологичных ветро-солнечных установок, выпуская модульные трейлеры для освещения, предназначенные для работы в экстремальных условиях (Рисунок 4.4). Данная установка мощностью 1,2 кВт предназначена для эксплуатации при температурах от -40 °С до 55 °С.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ



Рисунок 4.4 – Передвижной ветро-солнечный прицеп для освещения

Увидев тенденцию к обеспечению портативности, генерирующих электроэнергию устройств, команда Маркоса Медиа тоже не осталась в стороне, представив миру концепт своего портативного ветрогенератора «Аеро» (Рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Портативный ветрогенератор «Аеро»

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Несмотря на относительное разнообразие разработок в области мобильных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии, остается проблема укомплектования лопастей в прицеп для обеспечения удобства транспортировки, в рассмотренных аналогах данная задача решается путем ручной установки лопастей на месте мобилизации (Рисунок 5.6). Но такой способ установки лопастей для обеспечения компактности и вместимости ветроустановки в контейнер, не подходит для использования на территории России, т.к., например, на Дальнем Востоке в некоторых регионах средняя температура в январе достигает $-46,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, что значительно усложнит установку лопастей. Соответственно необходимо разработать систему, которая позволит складывать и раздвигать лопасти дистанционно.



Рисунок 4.6 – Установка лопастей мобильной ветроустановки

Многие системы дистанционного складывания лопастей, существующих на данный момент, имеют стропы для подъема и опускания (Рисунок 5.7), такой элемент конструкции уменьшает надежность ветроустановки, особенно при большой скорости ветра.



Рисунок 4.7 – Складывающиеся лопасти

Также лопасти ветроустановки необходимо делать жёсткими, чтобы предотвратить их изгиб. Недопустимо при порывах ветра допустить удар лопастей по мачте. Но обеспечение жесткости лопастей приводит к их утяжелению, что в свою очередь влияет на мощность турбины и на себестоимость. «Sandia National Laboratories» разработали лопасти, состоящие из сегментов (Рисунок 5.8), такое решение уменьшает вес лопастей, а также облегчает их установку. Способность лопастей складываться делает их устойчивыми к экстремальным ветряным нагрузкам.

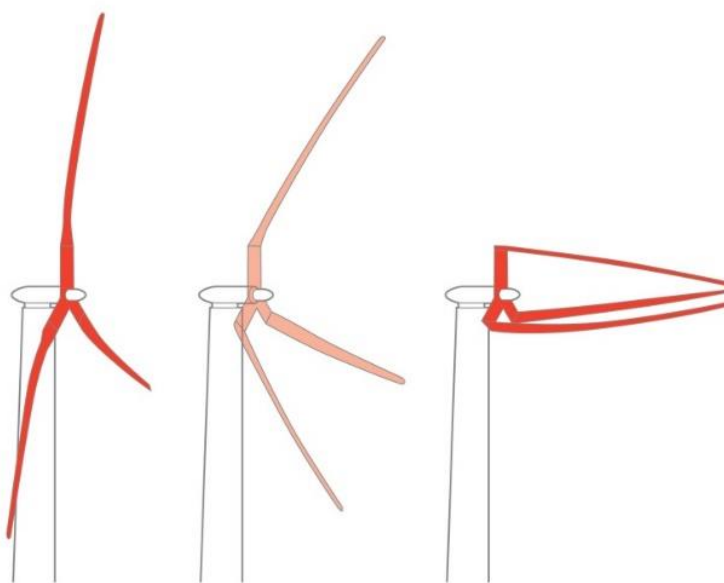


Рисунок 4.8 – Складывающиеся лопасти от «Sandia National Laboratories»

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Лист

37

Помимо мощности, рабочей скорости ветра и уровня шума ветроустановки, важными параметрами в нашем случае также являются её масса и габариты для обеспечения удобства при транспортировке. На основе приоритетности этих параметров делаем вывод, что оптимальным вариантом будет использование вертикально-осевого ветрогенератора (Рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Вертикально-осевой ветрогенератор

Таким образом видим, что отечественных аналогов предложенным зарубежным образцам попросту нет. Да, возможно, разработки в этой отрасли велись, но до получения серийного образца дело так и не дошло[25]. Это также объясняется тем, что отношение к ВИЭ, а также их использование в странах запада или США более развито, чем в России. Но именно сейчас в нашей стране необходимо создавать предпосылки для их эксплуатации в будущем.

В действительности, создание мобильного ветро-солнечного энергокомплекса является наукоёмкой задачей. Во-первых, необходимо решить вопрос о выдвигании ветроэнергетической установки из прицепа или фургона. Этот вопрос включает в себя выбор подъемного механизма, расчет электрического привода, выбор

типа и мощности ВЭУ. Во-вторых, планирует рассмотреть систему сложения лопастей для уменьшения габаритных размеров ВЭУ в сложенном состоянии. Система сложения лопастей вертикально-осевой ВЭУ – уникальный продукт, аналогов которому нет в мире. В-третьих, требуется рассмотреть систему солнечных модулей, которые также будут расположены внутри прицепа, а также принцип их выдвижения из него[26]. Вопрос о расположении солнечных панелей на крыше прицепа не рассматривается ввиду их механической незащищенности. В-четвертых, необходимо разработать максимально простую систему управления данным комплексом, т.е сделать его универсальным для управления любым человеком, даже без специального электротехнического образования.

Рассмотренный выше энергокомплекс может иметь широкое применение в нашей стране. Потребителями экологически чистой и безопасной энергии также могут быть обычные жители, пожелавшие выехать на природу на автомобиле и использовать комплекс для зарядки гаджетов, приготовления пищи и т.д. Также комплекс может использоваться специальными установками, обеспечивающими безопасность нашей страны[27].

Также стоит обратить внимание на категорию надежности объектов, которые будут получать энергию от ветро-солнечного комплекса. Ни для кого не секрет, что ввиду непостоянства ветра и солнца снабжать электрической энергией объекты первой категории надежности электроснабжения невозможно. В таком случае необходимо предусмотреть третий источник. Им может быть дизельный или бензиновый генератор, о котором говорилось выше. Такой генератор будет включаться при отсутствии солнечной или ветровой энергии, т.е в безветренную или пасмурную погоду[28].

Выводы по разделу 4

Существующие на сегодняшний день отечественные мобильные энергокомплексы не имеют в себе устройств использования «зелёной энергии». Но спрос на

такие устройства определенно имеется. Он обусловлен ростом спроса на энергетические ресурсы, проблемой электроснабжения автономных потребителей, а также вопросом использования возобновляемых источников энергии.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		40

5 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА

Основное содержание данной главы составляет анализ существующих механизмов подъема для поднятия ротора ветрогенератора. Рассмотрены основные механизмы подъема: телескопическая мачта с лебедкой, электромеханическая телескопическая мачта, ножничный подъемный механизм и коленчатые подъемники

5.1 Сравнительный анализ подъемных механизмов.

1) Телескопическая мачта с лебедкой служит для вертикального перемещения грузов, на определенную высоту. Данные мачты характеризуются простотой в использовании, компактностью, облегченной конструкцией, а также долгим сроком службы.

Телескопическая мачта состоит из нескольких разных по диаметру секций, которые вставлены друг в друга. Принцип её работы довольно прост. Первая (нижняя) секция неподвижна, она является основанием, остальные секции подвижны. Выдвижение секций мачты осуществляется за счет наматывания на барабан 3 троса 4, который обеспечивает подъем первого подвижного звена 6. Из-за увеличения расстояния между верхними торцами звеньев 1 и 6, с помощью троса 8 осуществляется подъем второго подвижного звена 10. Последнее подвижное звено 13 выдвигается аналогичным образом. Свертывания происходит путем разматывания троса 4, и опускания всех подвижных звеньев мачты за счет собственного веса и веса установленного на ней оборудования [29] Вращение барабана осуществляется за счет электрического, дизельного или бензинового двигателя.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		41

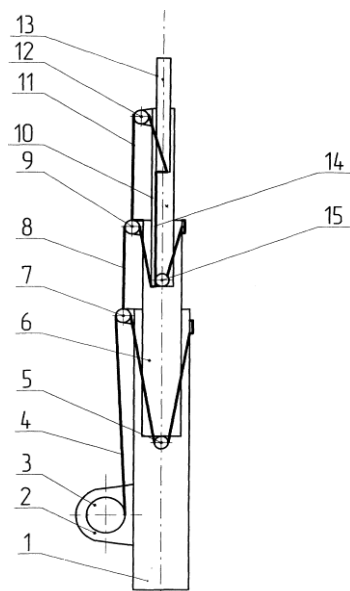


Рис 5. 1 Механизм работы телескопической мачты.

1-неподвижное звено (основание); 2-лебедка; 3 –барабан; 4,8,11,14-приводные тросы; 5,7,9,12,15-ролики; 6,10,13-подвижные звенья

Скорость развертывания телескопической мачты достаточно высокая, что объясняет ее применение в службах спасения, и военных структурах различных стран для осуществления мобильной связи, освещения или установки систем радиолокационной защиты и наблюдения. Также высокой популярностью телескопические подъемные механизмы, пользуются и в мирных целях, например, телекоммуникационные компании устанавливают на них различное осветительное и акустическое оборудование, при проведении развлекательных мероприятий, и для организации съемочного процесса в кинопроизводстве, также данный вид подъемников используется для строительных и ремонтных работ. Температурный режим использования колеблется от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$, что делает возможным ее применение, в любых климатических поясах. Мачта способна сохранять устойчивость при скорости ветра до 80 км/час (или 22 м/сек).

В зависимости от различных природных условий (сильные ветры, низкие температуры и т.д.) в местах размещения мачт, на рынке телескопических мачт представлены комплексные решения для безопасного использования оборудования,

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		42

установленного на мачтах, такие как применения систем оттяжек, опорных площадок, систем крепления, использование защитных покрытий от обледенения, коррозии и т.д.

Использование такой мачты для наших целей возможно: 1) Вертикально внутри кунга, вырезав в крыше отверстие и установив специальный уплотнительный хомут для предотвращения раскачки мачты и вследствие этого повреждения ветроустановки, также дополнительно придется использовать защитный люк, для предотвращения механических повреждений ветрогенератора во время транспортировки. 2) Горизонтально, но в этом случае придется устанавливать механизм поднятия мачты для приведения её в вертикальное положение, а из этого следует, что придется также устанавливать систему противовесов, для предотвращения опрокидывания нашего кунга. Использование, как первого, так и второго варианта ведет, не только к утяжелению конструкции, но и к её удорожанию.

2) Электромеханическая телескопическая мачта-сравнительно новый вид подъемного оборудования. Данный вид мачт специально создавали для мобильного использования, поэтому он обладает такими качествами как, повышенной прочностью к различным видам ударов, возникающих при частой транспортировке, развертывание, а также свёртывание мачты, малыми габаритами, быстрым временем подъема, и простотой управления.

Основным отличием электромеханической мачты от мачты с лебедкой служит, то что подъем (опускание) первой, обеспечивается за счет передачи винт-гайка.

Принцип подъема электромеханической мачты описан ниже:

В походном положении, гайка (24), которая расположена в нижней втулке (11) первой подвижной секции (6), находится на проточке (4) ниже резьбовой части винта (3), а гайка (25) второй подвижной секции (7), расположена в начале резьбы винта(3), при включение привода (2), винт (3) начинает вращательное движение, таким образом через гайку (7), вверх начинает подниматься подвижная секции (7), Замки (18) и (19), соединяют неподвижную секции (5) и подвижную секции (6). При достижение гайкой (25) положения, которое приближает ее к выходу с резьбы

винта (3), замки (18) и (19), разъединяют секции (5) и (6), и связывают секции (7) и (6), поэтому далее эти секции движутся как единое целое, вследствие этого гайка (24), первой подвижной секции (6), переходит на резьбовую часть винта (3), таким образом подъем продолжается, за счет механической связи замками (18) и (19). Движение прекращается после достижения максимальной высоты, путем отключения привода.

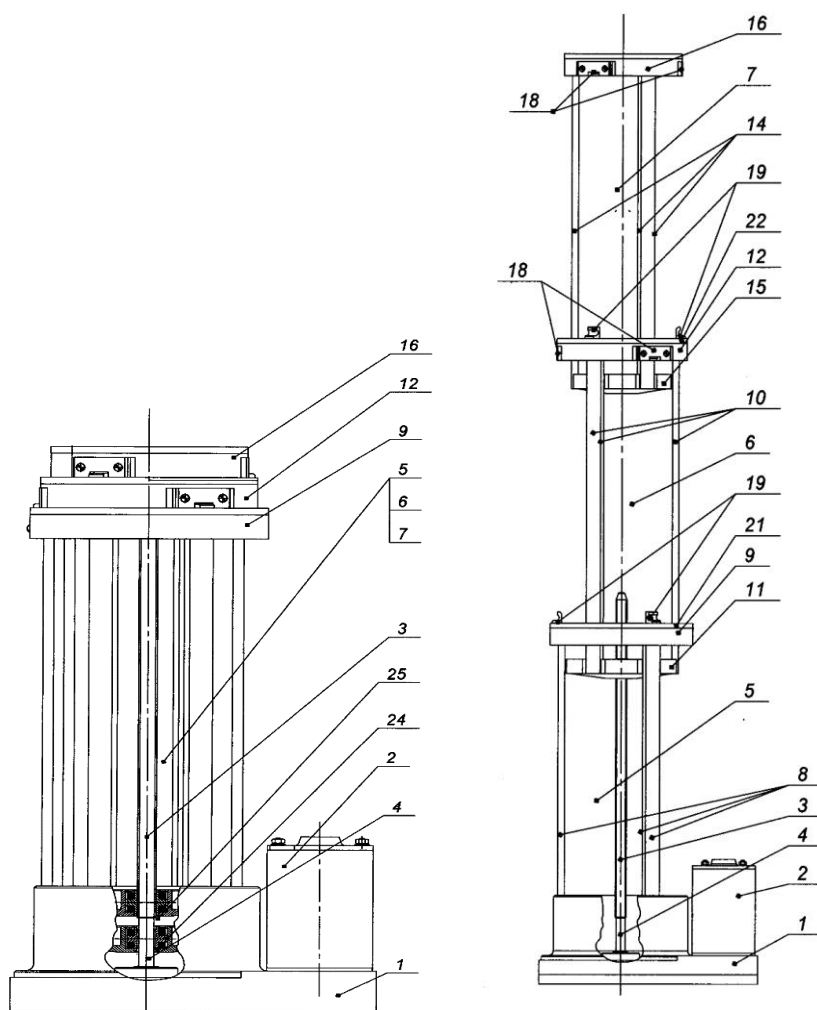


Рис 5.2. Механизм подъема электромеханической мачты

Электромеханические мачты предназначены для применения как в гражданских, так и в военных целях. К достоинствам данных мачт следует отнести: уникальное сочетание полезной грузоподъемности и массы самой мачты, работа в различных климатических условиях (от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$), независимость скорости

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Лист

44

подъема от нагрузки, отсутствие систем оттяжек и кольев, за счет высокой механической прочности мачты. К недостаткам отнесем относительно малую грузоподъемность, и не большую высоту подъема.

3) Ножничный подъёмный механизм (пантограф) - это не только самый распространённый вид подъёмного оборудования на сегодняшний день, но и самый древний, в средневековье похожие конструкции применялись при осаде городов и замков. К основным достоинствам можно отнести: хорошая высота подъёма (до 40 м), простота в управление, долгий срок службы, не большая стоимость обслуживания и ремонта.

В состав данного подъёмника входит: основание-нижняя часть пантографа, рычажный механизм ножничного типа, платформа-верхняя часть конструкции, на которой устанавливается оборудование, гидравлические цилиндры или приводные лебёдки в зависимости от типа пантографа, и электрический двигатель либо гидронасос. Принцип действия разберем на примере подъёмного механизма антенного оборудования мобильного комплекса связи МИК-МКС. При включении приводов 10 и наматывании канатов 21 на канатные барабаны 9, за счет полиспастов, образованных дополнительными блоками 22 на верхних балках 23 опорной рамы 1 и дополнительными блоками 24, 25, 26 на нижних звеньях 3, 4, осуществляется подъем и разворот нижних звеньев шарнирно-рычажного механизма и, соответственно, подъем и разворот последующих промежуточных 5, 6 и верхних 7, 8 с рабочей площадкой 2. При натяжении канатов 21 на ролики 39 и, соответственно, на верхние звенья 7, 8 воздействует дополнительная подъемная сила, что улучшает условия подъема верхних звеньев 7, 8 в начальный момент подъема. Опускание подъёмника осуществляется в обратной последовательности под собственным весом при сматывании канатов 21 с канатных барабанов 9.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		45

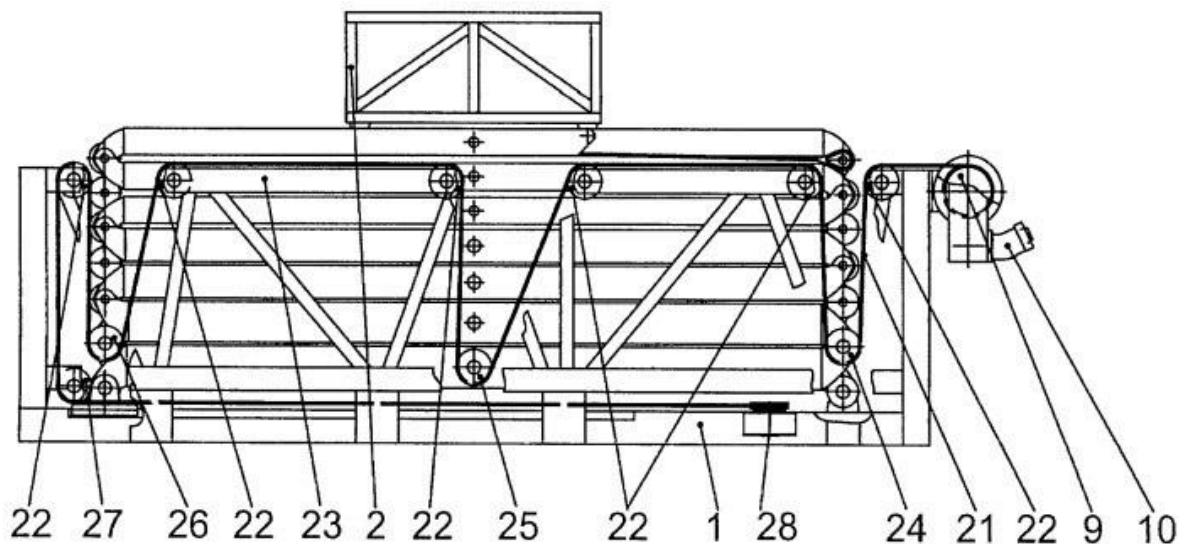


Рис 5.3. Механизм подъема МИК-МКС, в сложенном состоянии.

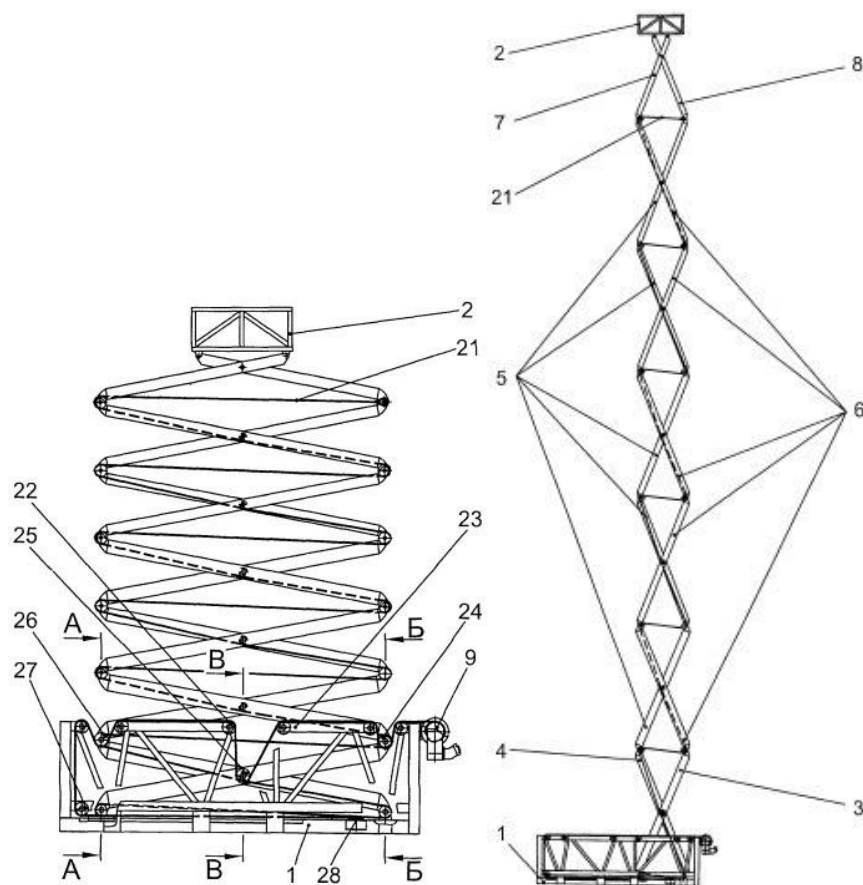


Рис 5.4. Механизм подъема антенного оборудования мобильного комплекса связи МИК-МКС во время развертывания.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Лист

46

Свое применение пантографы нашли во многих областях жизнедеятельности человека: строительные и ремонтные работы, для поднятия автомобилей в автомастерских, в складских хозяйствах, и многоярусных автомобильных паркингах.

Достоинством ножничных подъемных механизмов является их грузоподъемность (до 2,5 т). Хорошей устойчивостью пантографов на неподготовленной площадке, а также стойкость к сильным ветрам (прочность мачты мобильного комплекса связи МИК-МКС неизменна при ветре до 50 м/с) является очень выгодным для нас достоинством описываемого подъемника. Сильной стороной пантографов является их не высокая стоимость относительно других видов подъемного оборудования.

Основание такого подъемника без труда можно вмонтировать в кузов фургона мобильного энергокомплекса, а вместо рабочей площадки наверху расположить ветрогенератор. На рисунке 4 представлены габаритные параметры ножничного подъемника, а также габариты малогрузовой, как мы видим из рисунка по ширине и длине пантограф с основанием легко умещается в фургон, при этом остается достаточно много свободного места, которое пригодится нам для размещения солнечных модулей, а также блока управления.

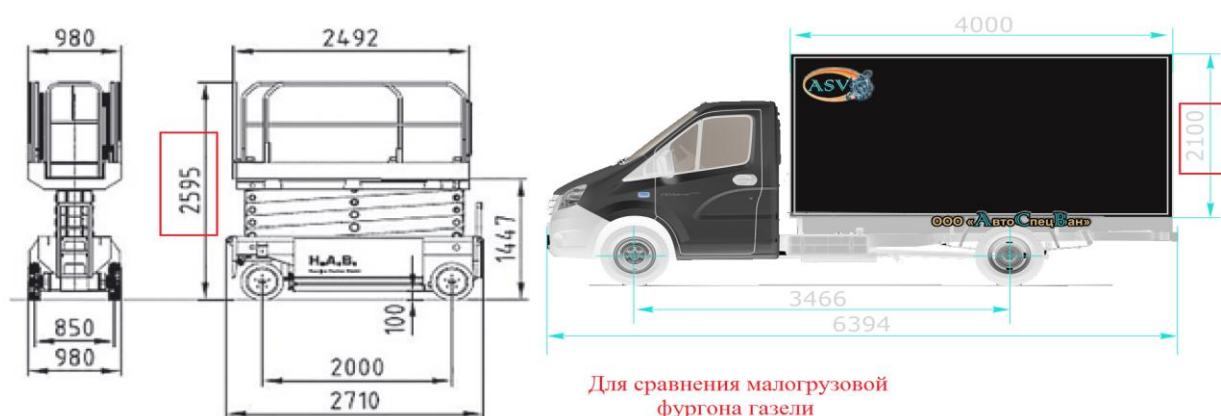


Рис 5.5 Габарит ножничного подъемного механизмы и малогрузовой газели.

4) Коленчатые подъемники - вторые по использованию виды подъемного оборудования. Представляет собой особый вид подъемных механизмов, которые так называются благодаря особой конфигурации стрелы. Отличительными чертами коленчатых подъемников является: большая рабочая высота подъема (более 40 м),

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

относительно малая грузоподъемность (до 300 кг), компактные габариты, и способность работать на небольших склонах.

Принцип действия этого подъемного механизма основан на способности изменять форму стрелы с помощью позиционирования ее колен относительно друг друга при помощи гидравлических цилиндров.



Рис 5.6. Электрический коленчатый подъемник «РОИН»

Сферы применения коленчатых подъемных установок такие же, как и у ножничный и телескопических подъемников, но большую популярность, они завоевали в работах при постройке и обслуживании ЛЭП, коммуникаций и строительстве в трудно доступных местах где из-за природных или антропогенных преград, применение телескопических и ножничных механизмов невозможно.

К недостаткам данных подъемников можно отнести их большой вес (вследствие применения системы противовесов) при относительно малой грузоподъемности. И ввиду присутствия гидравлических цилиндров по которым циркулирует рабочая жидкость, например, масло, ограниченность по температурным режимам в диапазоне от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ниже представлена сравнительная диаграмма всех вышеописанных механизмов подъема.

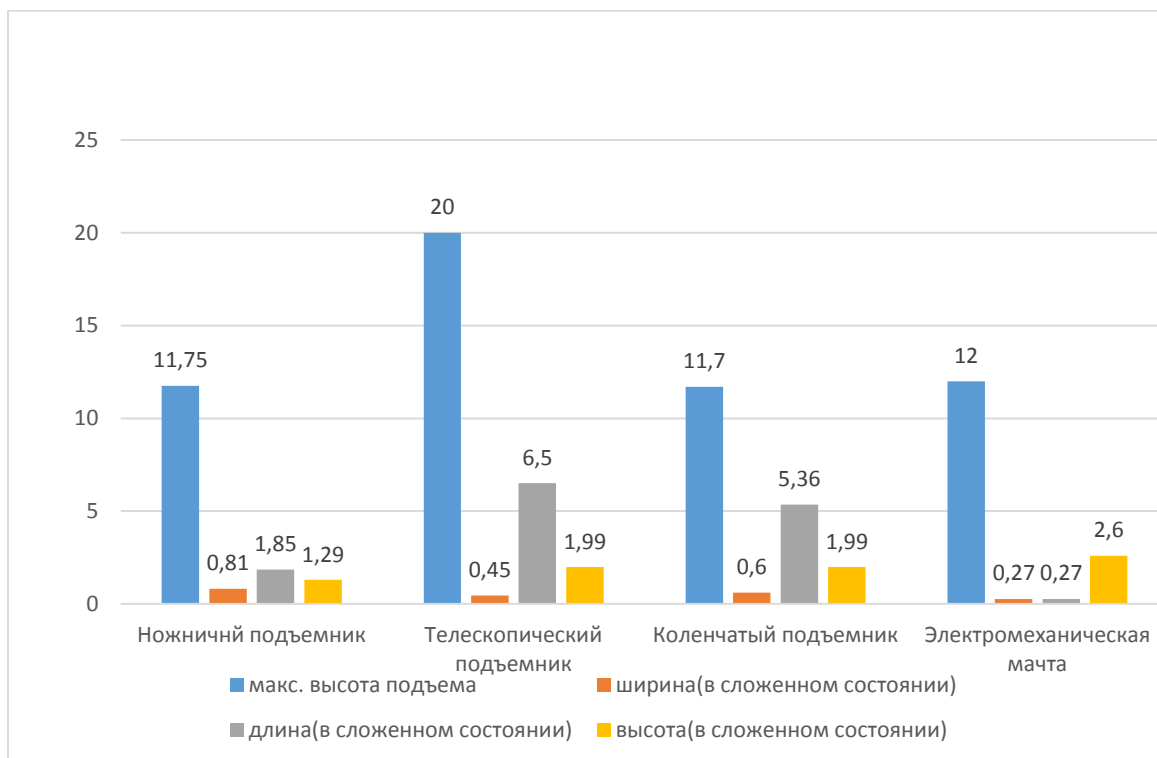


Рис.5.7. Сравнительная диаграмма механизмов подъема при идентичной грузоподъемности.

5.2 Выводы по разделу 5

Таким образом проанализировав существующие на сегодняшний день подъемные механизмы, можно сделать вывод, что оптимально подходящим для нас вариантом по массогабаритным параметрам, а также по условиям устойчивости и жесткости, является телескопическая электромеханическая мачта.

6 ВЫБОР ПРИВОДА ДЛЯ ПОДЪЕМА РОТОРА ВЕТРОКОЛЕСА

Для привода подъемных установок используют электрические двигатели переменного или постоянного тока, гидравлические двигатели, а также двигатели внутреннего сгорания. Приводы подъемного оборудования должны не только перемещать груз в пространстве, но и надёжно фиксировать его в заданном положении. А также привод подъемного оборудования должен соответствовать таким требованиям:

- Независимость частоты вращения двигателя от изменения нагрузки
- Развивать большой начальный пусковой момент
- Обладать большой перегрузочной способностью
- Быть удобным в управление
- Обладать повышенной механической прочностью
- Работа в тяжелых климатических условиях (высокие, низкие температуры, дожди)

Этим требованиям соответствуют электрические двигатели постоянного и переменного тока. Электрические двигатели подъемных установок отличаются от общепромышленных двигателей, своим режимом работы, если, к примеру, общепромышленный двигатель должен работать большое количество времени без остановки, то двигатели подъемных механизмов работают с большим количеством пусков и остановок. Еще одним отличием служит их конструктивное исполнение, т.к. двигатели подъемного оборудования должны выдерживать вибрации и тряски, во время их работы, а также при движении автомобильной платформы на которую они будут устанавливаться. Также при проектировании описываемых электродвигателей ввиду жестких требований к их динамике в переходных процессах пуска и торможения, момент инерции ротора стараются сделать минимальным.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
						50
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

6.1 Асинхронные электродвигатели

Асинхронные двигатели получили наибольшее распространение для привода подъёмных установок. К достоинствам таких двигателей можно отнести относительно невысокую цену и легкость в эксплуатации. Также их малый вес, высокая надежность и практичность для нас является большим плюсом.

Технологические условия механизмов подъема предъявляют к двигателям различные требования, одно из которых, пониженные скорости для мягкого опускания груза и его фиксации. Для этого существуют различные механизмы регулирования скоростей электродвигателя. На сегодняшний день это асинхронные привода с регулятором скольжения, и регулирования с помощью преобразователей частоты. [29] Для осуществления первого способа регулирования в цепь обмотки ротора вводится реостат, с помощью которого можно изменять сопротивление. При увеличении сопротивления, скорость вращения двигателя будет снижаться, вследствие увеличения скольжения. К достоинствам этого способа относят: малая стоимость, простота обслуживания. Но у этого способа есть ряд существенных недостатков, во-первых, это уменьшение КПД, вследствие возрастающих потерь в цепи ротора, во-вторых, уменьшается жесткость механической характеристики двигателя, вследствие этого относительно не большое изменение момента нагрузки, приведет к большому изменению частоты вращения.

Регулирование частоты вращения двигателя по системе ПЧ – АД. Данный способ предусматривает подключение к двигателю преобразователя частоты, регулирование происходит за счет изменения частоты напряжения, которое влияет на скорость вращения магнитного поля статора (рисунок 7.1)

Достоинства этого способа: Высокая жесткость механических характеристик, плавное регулирования скорости вращения, малые потери, высокое быстродействие. Недостатки: низкие коэффициенты мощности, снижение перегрузочной способности двигателя.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		51

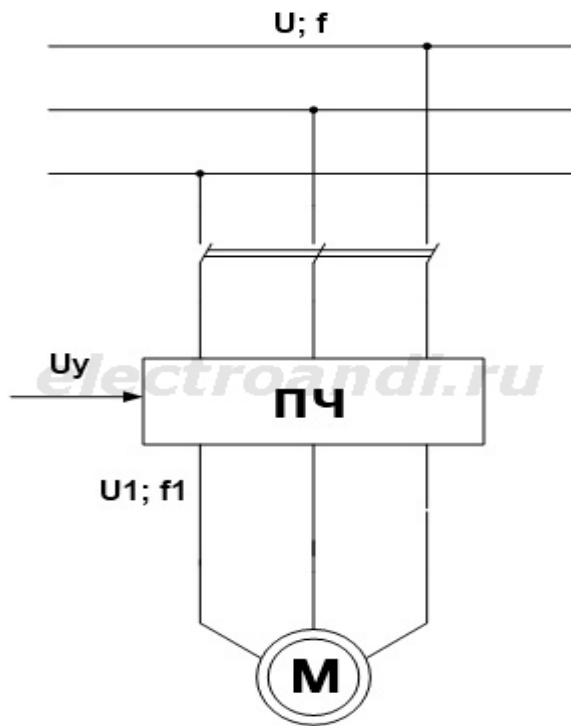


Рисунок 6.1 – Схема асинхронного двигателя с преобразователем частоты

6.2 Двигатели постоянного тока

Помимо двигателей переменного тока, в механизмах подъема широко применяются двигатели постоянного тока, с последовательным возбуждением. Применение таких двигателей обусловлено рядом преимуществ: Их КПД больше, чем у асинхронных двигателей, как при максимальной, так при неполной нагрузке, разница может достигать 15%. Большой пусковой момент, а также жесткие механические характеристики, высокая точность поддержания скорости вращения, хорошая перегрузочная способность, достаточно малая инерционность, делают двигатель постоянного тока, отличным вариантом для применения в передвижных грузоподъемных механизмах [30]. Еще одним важным достоинством, такого двигателя является то что, для его питания нет необходимости применения инверторов, что удешевляет конечную стоимость энергокомплекса. Основным минусом ДПТ, является регулярное обслуживание щеточно-коллекторного устройства, и ограниченность

срока службы, которое вызвано его износом. Однако на современных двигателях постоянного тока, эти недостатки практически нивелированы.

Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока осуществляется несколькими способами:

Ввод регулировочного реостата в цепь якоря. Регулировочный реостат включается последовательно с якорем, таким образом увеличивается сопротивление якорной цепи, что приводит к уменьшению частоты вращения. На рисунке 7.2 представлена схема подключения регулировочного реостата в цепь якоря.

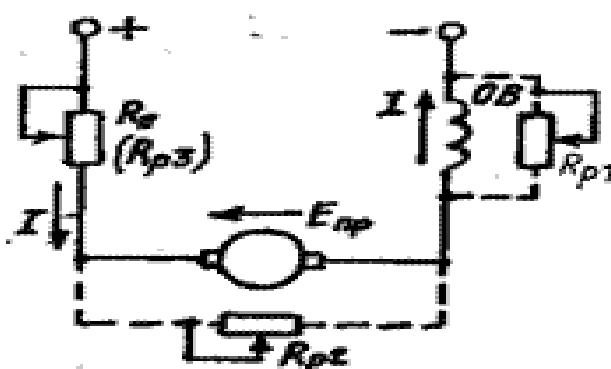


Рисунок 6.2 – Включение реостата последовательно в цепь якоря

Механическая характеристика при данном способе регулирования представлена на рисунке 6.3.

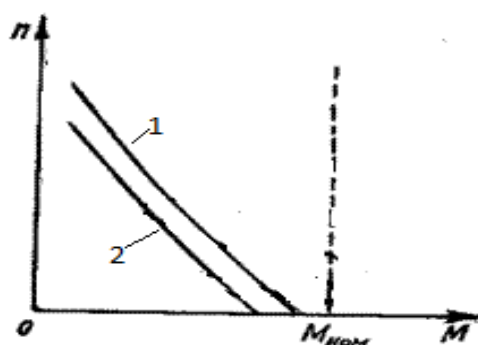


Рисунок 6.3 – Механические характеристики двигателя постоянного тока:
1 – Естественная характеристика; 2 – При введении в якорь добавочного сопротивления.

Также возможно использование системы двигатель-редуктор (мотор редуктор). На рисунке 7.4 представлено фото данной системы.

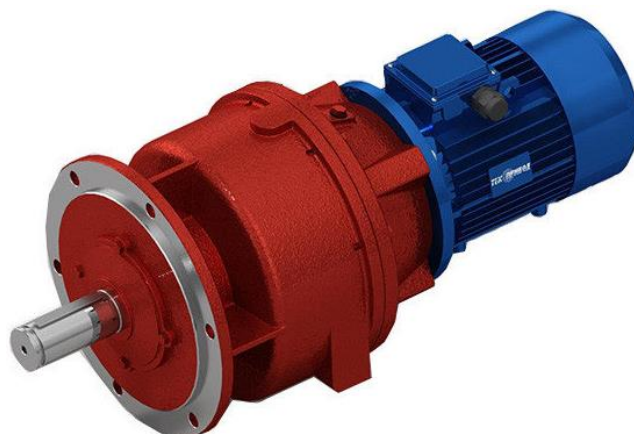


Рисунок 6.4 – Мотор-редуктор.

Мотор-редуктор – это механизм, состоящий из редуктора и электродвигателя, которые соединены в едином блоке. В качестве примера возьмем планетарный редуктор. [31] Устройство планетарного механизма основано на вращении тел зубчатой передачи, которые непосредственно взаимодействуют с двигателем. Именно такое соединение и служит для передачи силы от редуктора до других механизмов с изменением скорости их вращения. Вследствие этого, осуществляется передача крутящего момента от двигателя на вращающийся механизм через основную ось, главную шестерню и сателлиты. К достоинствам редукторного привода относят: компактность, надежность, малая масса.

6.3 Гидравлический привод

Гидравлический привод – в основном используется в коленчатых видах подъёмных механизмов, а также в стреловых самоходных кранах. Гидравлический привод включает в себя: насос и гидроцилиндр, которые соединены трубопроводами, систему управления, приводной двигатель. В качестве приводного двигателя используют электродвигатель или двигатель внутреннего сгорания. В качестве рабочих жидкостей используются, минеральные масла, синтетические жидкости, водо-

масляные эмульсии. Главные достоинства гидравлического привода: широкий диапазон регулирования скоростей вращения, плавное поднятие и спуск груза, устранение динамических нагрузок, компактность, малая масса [32]. В тоже время у гидравлического привода есть и недостатки: высокая стоимость, низкая экономичность, вероятность утечек рабочей жидкости, ухудшение работы при отрицательных температурах.

6.4 Тепловой привод

Тепловой привод, т.е. привод от двигателей внутреннего сгорания, широко используется в грузоподъемном оборудовании, где отсутствует постоянный источник питания (самоходные, плавучие железнодорожные краны). Преимущества привода от двигателей внутреннего сгорания: независимость от источников электропитания, экономичность, регулирование скорости механизма. К недостаткам данного привода относят: меньший КПД, чем у электродвигателей, малая перегрузочная способность, невозможность запуска при наличии нагрузки, малый пусковой момент

6.5 Выводы по разделу 6

Проанализировав данные типы двигателей можно сделать вывод, что наиболее подходящим для передвижного энергокомплекса будет асинхронный двигатель. Это обуславливается несколькими основными достоинствами АД: во-первых, плавный разгон и торможение всех механизмов с заданным ускорением, что обеспечивает плавное нарастание моментов и усилий во всех, узлах и механизмах. Во-вторых, высокий КПД и коэффициент мощности. Также на рисунках 6.5 и 6.6, представлены габарит мотор-редуктора, и автомобиля на котором ориентировочно будет базироваться энергокомплекс (рисунок 6.7).

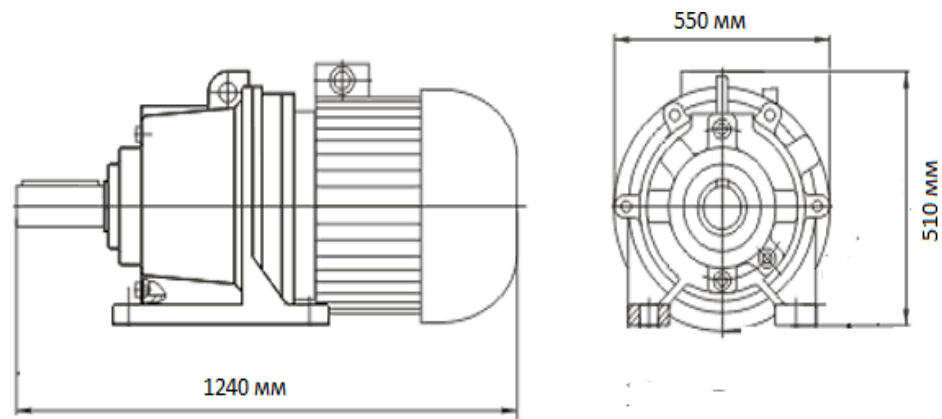


Рисунок 6.5 – Габариты мотор-редуктора.

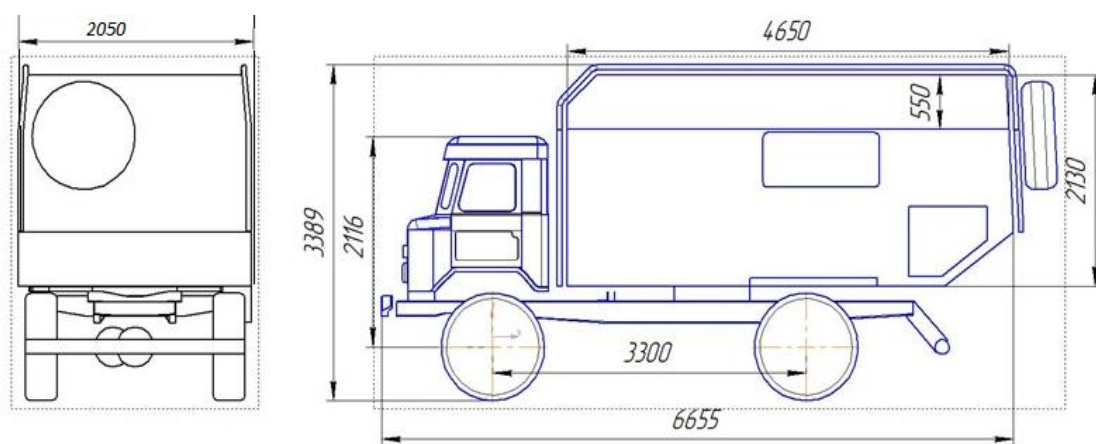


Рисунок 6.6 – Габариты автомобиля

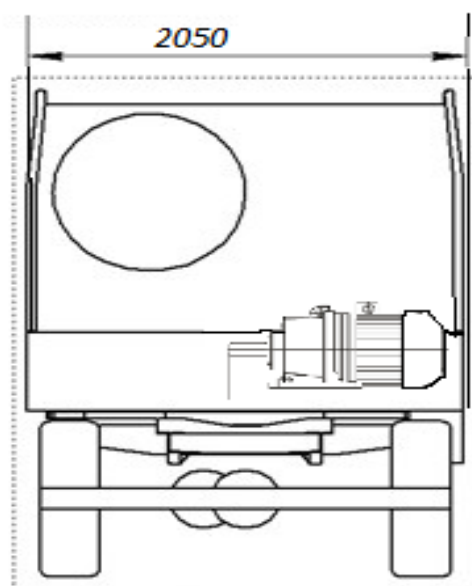


Рисунок 6.7 – Размещение мотор-редуктора, в автомобиле

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

7 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

При конструирование механизма подъема наиболее важной задачей является выбор электродвигателя. Ниже приведен порядок подбора двигателя.

1. Определяется статическая мощность при подъема номинального груза.
2. По каталогу электродвигателей выбирают двигатель так, чтобы его номинальная мощность была равна или несколько больше, чем статическая мощность.
3. Производят расчет выбранного двигателя.

7.1 Выбор электродвигателя

Мощность двигателя (в киловаттах) при подъема номинального груза, с установившейся скоростью (м/с) определяется по формуле 1.

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{Q \cdot V}{102 \cdot \eta} = \frac{600 \cdot 0.1}{102 \cdot 0.6} = 0.998 \text{ кВт} \quad (7.1.1)$$

Где, Q – номинальный вес поднимаемого груза,

V – Скорость подъема, принимаем $0.1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ согласно [33] η –

общий КПД механизма, для винтовой пары принимается 0.6 согласно [33]

Принимаем для расчета мощность $P_{\text{ВЫХ}} = 1 \text{ кВт}$.

По каталогу электродвигателей выбираем трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 4А80А4 УЗ.

Основные технические характеристики двигателя 4А80А4 УЗ представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Технические характеристики электродвигателя 4А80А4 УЗ

Параметр	Значение
Частота вращения (об/мин)	1500
Номинальная мощность (кВт)	1.1
Скольжение (%)	6.7
КПД (%)	75
Коэффициент мощности	0.81
$M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$	2.2
$M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$	2

Продолжение таблицы 7.1

I_n/I_H	5
Активное сопротивление статора (Ом)	9.53
Индуктивное сопротивление статора (Ом)	0.484
Активное сопротивление ротора (Ом)	5.619
Индуктивное ротора статора (Ом)	0.476

Далее находим потребляемую мощность двигателя по формуле 2

$$P_1 = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{\eta} = \frac{1}{0.75} = 1.33 \text{ кВт} \quad (7.1.2)$$

По формуле 3, находим потребляемый ток электродвигателя

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{1.33}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.81} = 4.32 \text{ А} \quad (7.1.3)$$

Где, U-напряжение питания, принимаем 220 В,

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{1.1}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.81 \cdot 0.75} = 4.75 \text{ А} \quad (7.1.4)$$

$$I_{\text{ПУСК}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{НОМ}}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 5 \cdot 4.75 = 23.75 \text{ А} \quad (7.1.5)$$

7.2 Построение механической характеристики двигателя

Основной характеристикой двигателя является зависимость $n=f(M)$? называемая механической характеристикой. Приблизительно эту характеристику можно построить по паспортным данным, по четырем точкам.

Точка 1 соответствует идеальному холостому ходу, при котором

$$n=1500 \text{ (об/мин)}$$

$$M=0 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Точка 2 это номинальный режим, при котором

$$n_{\text{НОМ}} = n_0 \cdot (1 - s_H) = 1500 \cdot (1 - 0.067) = 1399 \text{ (об/мин)} \quad (7.2.1)$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = \frac{9550 \cdot 1.1}{1399} = 7.5 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (7.2.2)$$

Точка 3 критический режим работы электродвигателя

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \bar{\lambda}}) = s_{\text{кр}} = 0.067 \cdot (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 2.2}) = 0.279 \quad (7.2.3)$$

$$\text{Где, } \lambda = \frac{M_{\text{мак}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$n_{\text{кр}} = n_0 \cdot (1 - s_{\text{кр}}) = 1500 \cdot (1 - 0.279) = 1081 \text{ (об/мин)} \quad (7.2.4)$$

$$M_{\text{кр}} = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 2.2 \cdot 7.5 = 16.6 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (7.2.5)$$

Точка 4 пусковой режим.

$$n=0$$

$$M_{\text{п}} = \beta \cdot M_{\text{ном}} = 2 \cdot 7.5 = 15 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (7.2.6)$$

$$\text{Где, } \lambda = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$$

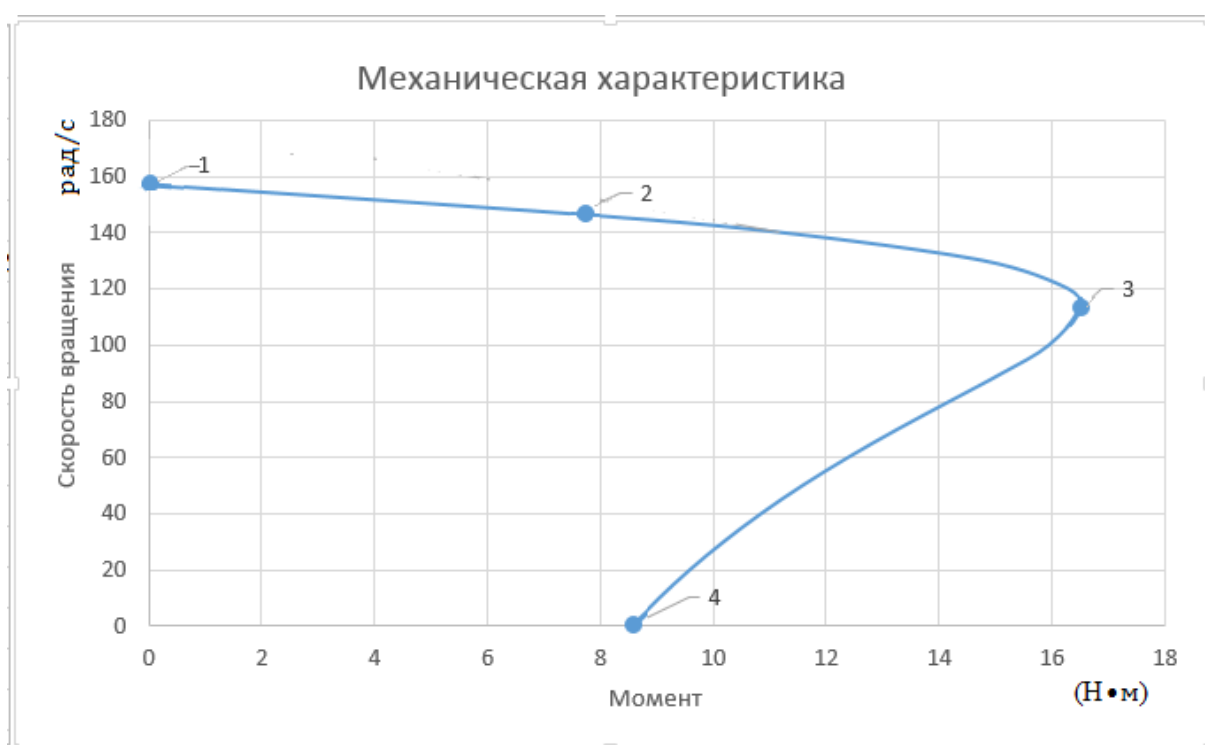


Рис.7.1. Естественная механическая характеристика электродвигателя.

7.4. Расчет двигателя в программе Ngarad

Для расчета электромеханической и энергетической характеристики двигателя воспользуемся универсальной программой для расчёта двигателей «Ngarad». Заполняем исходные данные, согласно выбранному двигателю.

Ни рисунке 7.4.1 представлено рабочее окно программы «Ngarad» с техническими характеристиками нашего двигателя.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

На рисунках 7.4.1 и 7.4.2 представлены энергетическая и электромеханическая характеристики электродвигателя соответственно.

Универсальная программа расчёта двигателей

Исходные данные | Таблица | Графика

Программа расчёта: **Harad**

Синхронная скорость: **57.01** рад/с
 Номинальный ток статора: **4.75** А
 Номинальный момент: **7.5** НМ
 Невykl. актив. сопрот. статора: **9.53** Ом
 Невykl. индук. сопрот. статора: **0.484** Ом
 Невykl. привед. актив. сопрот. ротора: **5.619** Ом
 Невykl. привед. индук. сопрот. ротора: **0.476** Ом
 Начальная скорость: **1** рад/с
 Конечная скорость: **160** рад/с
 Шаг по скорости: **1** рад/с
 Питание от источника: **Напряжения**

Напряжение: **220** В
 Ток: **10** А
 Частота: **50** герц

Номинальное напряжение сети $U_{sn} = 220$ В
 Номинальная частота сети $f_{snom} = 50$ герц
 Использована универсальная кривая намагничивания крановых двигателей серии МТФ(Н)

Загрузить из файла | Записать в файл | Провести расчёт

Рис.7.4.1. Исходные данные для двигателя 4А80А4 УЗ

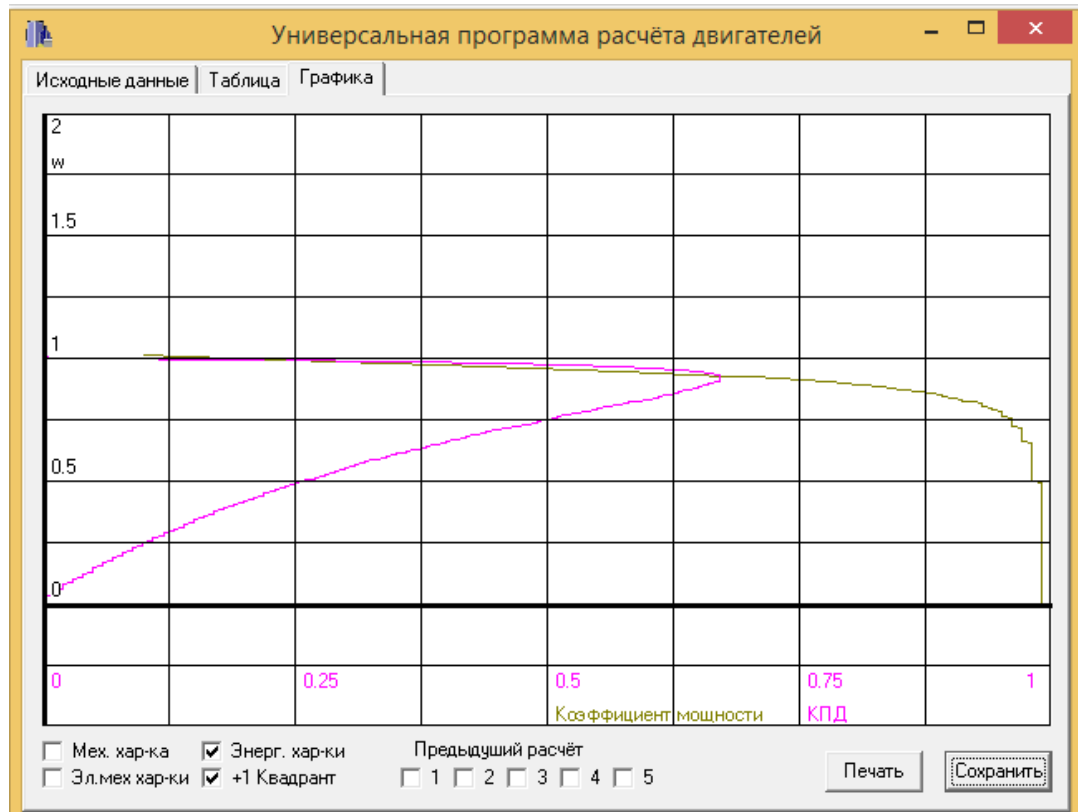


Рис.7.4.2. Энергетическая характеристика двигателя 4А80А4 УЗ

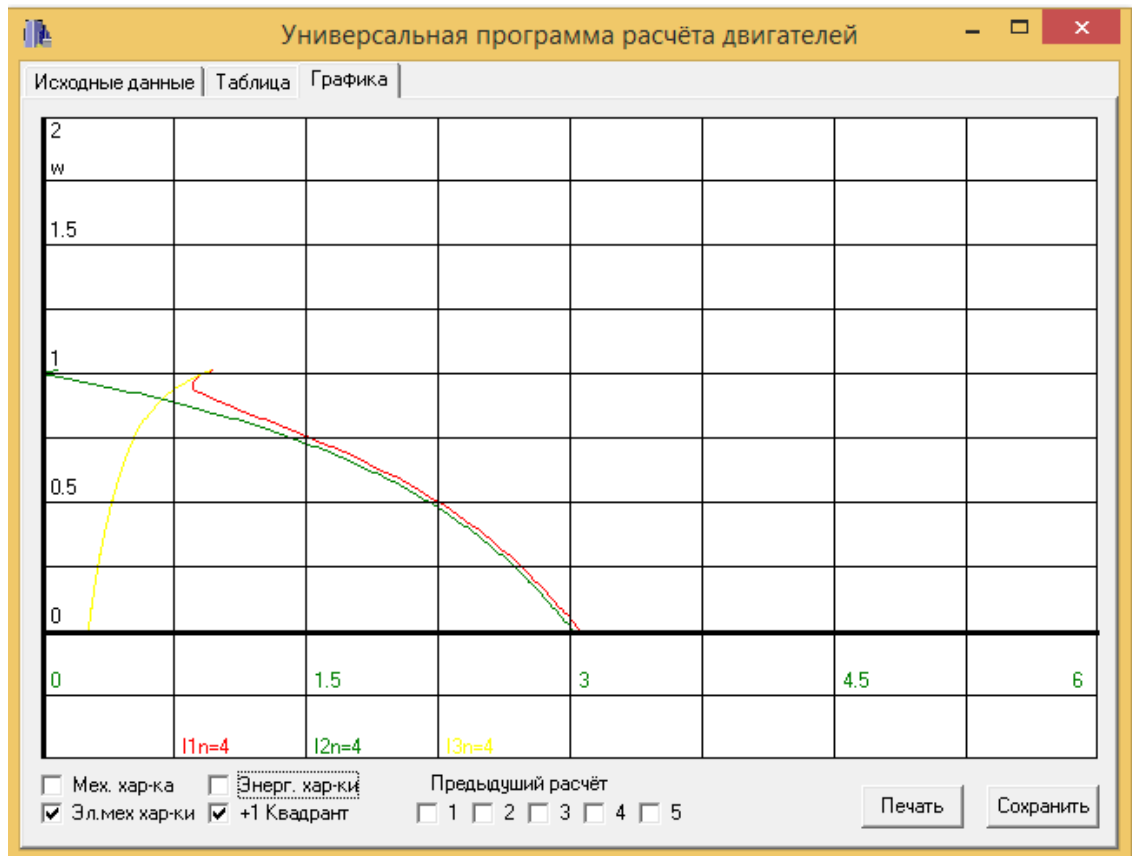


Рис.7.4.3. Электромеханическая характеристика двигателя 4А80А4 УЗ

7.4 Выбор преобразователя напряжения

Выбор инвертора для питания асинхронного двигателя осуществляется по нескольким параметрам: номинальная входная мощность и пусковая мощность.

Находим полную мощность электродвигателя по формуле 7.3.1

$$S = \frac{P_1}{\cos\varphi} = \frac{1.33}{0.81} = 1.641 \text{ кВА} \quad (7.4.1)$$

Электродвигатель в момент пуска потребляет в несколько раз больше энергии, чем в номинальном режиме, это следует учесть при выборе инвертора. Расчет пусковой мощности двигателя осуществляется по формуле 7.3.2

$$P_{\text{пуск}} = U \cdot I_{\text{пуск}} = 220 \cdot 23.75 = 5.225 \text{ кВт} \quad (7.4.2)$$

Инвертор должен выдерживать перегрузку не меньше суммарной мощности постоянной нагрузки и наибольшую из пусковых мощностей. Ввиду того, что у нас единственным потребителем мощности является асинхронный двигатель,

можно сделать вывод, что нам потребуется инвертор с номинальной мощностью не менее 1.1 кВт и пусковой мощностью не менее 5.225кВт. Также одной из важных характеристик инвертора является входное напряжение, поскольку с увеличением выходной мощности растут входные токи, что приводит к более тяжелым условиям работы транзисторов выходного каскада и к большим потерям на соединительных проводах. Снизить входные токи и соответственно уменьшить потери входного напряжения, позволяет выбор более высокого входного напряжения, которое бывает одним из следующих: 12,24,48. Согласно [34] рекомендуется выбирать напряжение 12 В при мощности до 600 Вт, 24 при мощности от 600 до 1500 Вт, и 48 В при мощности более 1500 Вт. Согласно вышеизложенному из каталога инверторов наиболее подходящим вариантом является инвертор МАП SIN "ЭНЕРГИЯ" PRO HYBRID 48В. Технические данные инвертора представлены в таблице 7.4.1.

Таблица. 7.4.1. Технические параметры инвертора МАП SIN "ЭНЕРГИЯ" PRO HYBRID 48В

Параметр	Значение
Мощность (кВт)	4.5
КПД (%)	97
Входное напряжение (В)	48
Выходное напряжение (В, Гц)	220, 50
Пиковая мощность (кВт)	7
Максимальная мощность (кВт)	4.5
Номинальная мощность (кВт)	3
Собственное потребление (Вт)	14.4-24
Рабочая температура (°С)	-25...50
Габаритные размеры (мм)	180·370·510
Вес (кг)	23

7.5 Выбор аккумуляторной батареи

Для расчета емкости одной аккумуляторной батареи пользуются формулой 7.5.1 [35]

$$C = \frac{T \cdot P_n}{U_{акб} \cdot K \cdot \eta \cdot K_p \cdot K_g} = \frac{1 \cdot 1100}{12 \cdot 4 \cdot 0.97 \cdot 0.8 \cdot 0.7} = 42.2 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (7.5.1)$$

Где T – время автономной работы, P_n – мощность нагрузки, $U_{акб}$ – напряжение одной аккумуляторной батареи, K – количество аккумуляторных батарей, принимаем 4 аккумулятора ввиду того, что входное напряжение инвертора, равно 48 В., η – КПД инвертора, K_p – коэффициент глубины разряда обычно равен 0.8-0.9, следует принять 0.8 согласно [35], K_g – коэффициент доступной емкости (зависит от режима разряда и температуры), при одночасовом режиме разряда, $t_{окр.ср.}=20^{\circ}C$, следует принять 0.7. [36]

Таким образом посчитав емкость одной аккумуляторной батареи можно сделать выбор аккумулятора, по каталогу. Наиболее подходящим для нас вариантом является аккумулятор Delta DTM 1255 L. В таблице 7.4.1 приведены основные технические характеристики данного аккумулятора.

Таблица 7.5.1 – Технические характеристики Delta DTM 1255 L

Параметр	Значение
Напряжение (В)	12
Ёмкость (Ач)	55
Вес (кг)	16.2
Габаритные размеры (мм)	239·132·210
Внутреннее сопротивление (мОм)	7
Макс. разрядный ток (5с), (А)	550
Номинальный зарядный ток (А)	5.5

На рисунке 7.5.1. изображена схема питания двигателя мобильного энергокомплекса.

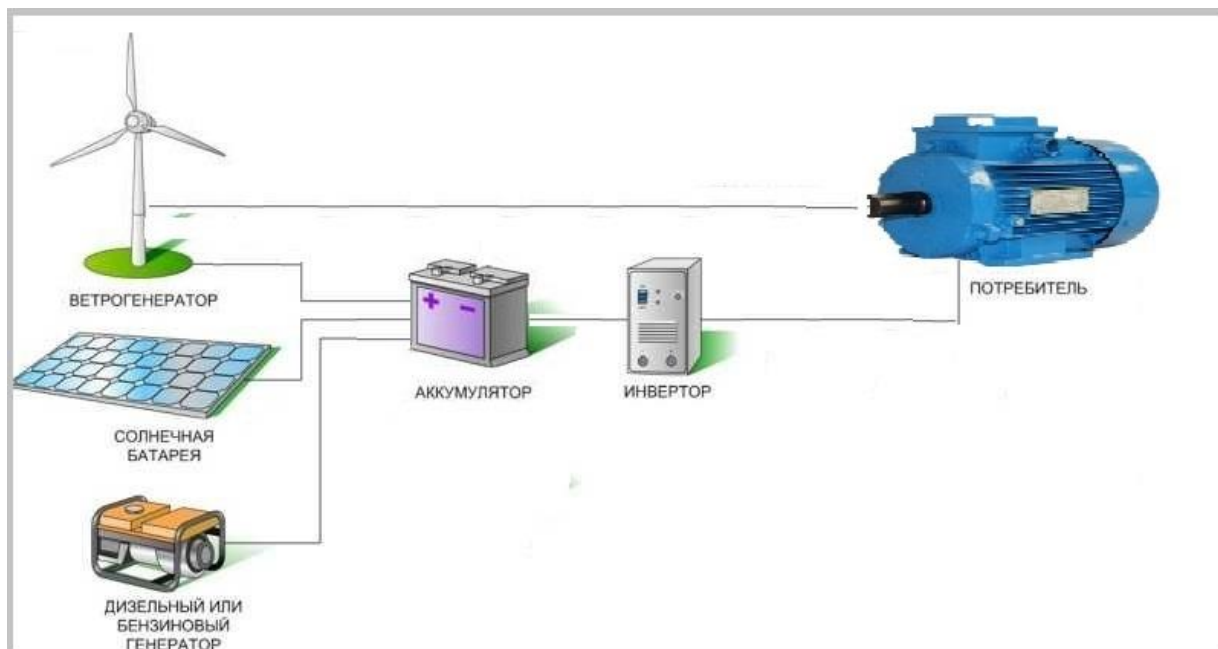


Рис.7.5.1. Схема питания электродвигателя

7.6 Выводы по разделу 7

В данном разделе были рассчитаны основные составляющие электропривода ветроколеса мобильной энергетической установки, такие как электрический двигатель, преобразователь напряжения и аккумуляторная батарея. Были построены механическая, энергетическая и электромеханическая характеристика двигателя. Также была составлена схема питания двигателя.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SOLIDWORKS

Современное моделирование представляет сложный процесс, позволяющий учесть многие факторы и особенности работы механизмов и протекания процессов. В действительности, в век компьютерных технологий, практически отпала необходимость в создании реальной модели для эксперимента, что приводит к снижению затрат при производстве. К тому же, проведение исследований на реальных объектах во многих случаях не представляется возможным из-за особенностей объекта, дальности его расположения от исследователей, геометрических размеров и т.д.

В связи с этим, производители программного обеспечения стараются с каждым годом улучшить существующие программы, т.е появляются дополнительные возможности для проведения компьютерных экспериментов, которые могут продемонстрировать новые особенности в изучении объекта моделирования.

Одним из лидеров на рынке 3D-моделирования является программный пакет SolidWorks, данная программа предлагает обширный ряд функций для решения сложных проектных задач. Имитационная модель мобильного энергокомплекса будет построена в программе SolidWorks 2018.

8.1 Процесс построения

Разработку начнем с постановки задачи: требуется построить максимально приближенную к действительности модель мобильного энергокомплекса с соблюдением пропорций ее элементов для проведения дальнейших исследований.

Все построения в программе SolidWorks 2018 производятся с помощью стандартных функций таких как: окружность, линия, многоугольник и т.д. в рабочем окне «Эскиз», и вытянутая бобышка, вытянутый вырез, и т.д. в окне элементы.

На рисунках 8.1, 8.2 представлены некоторые элементы мобильного энергокомплекса.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		65

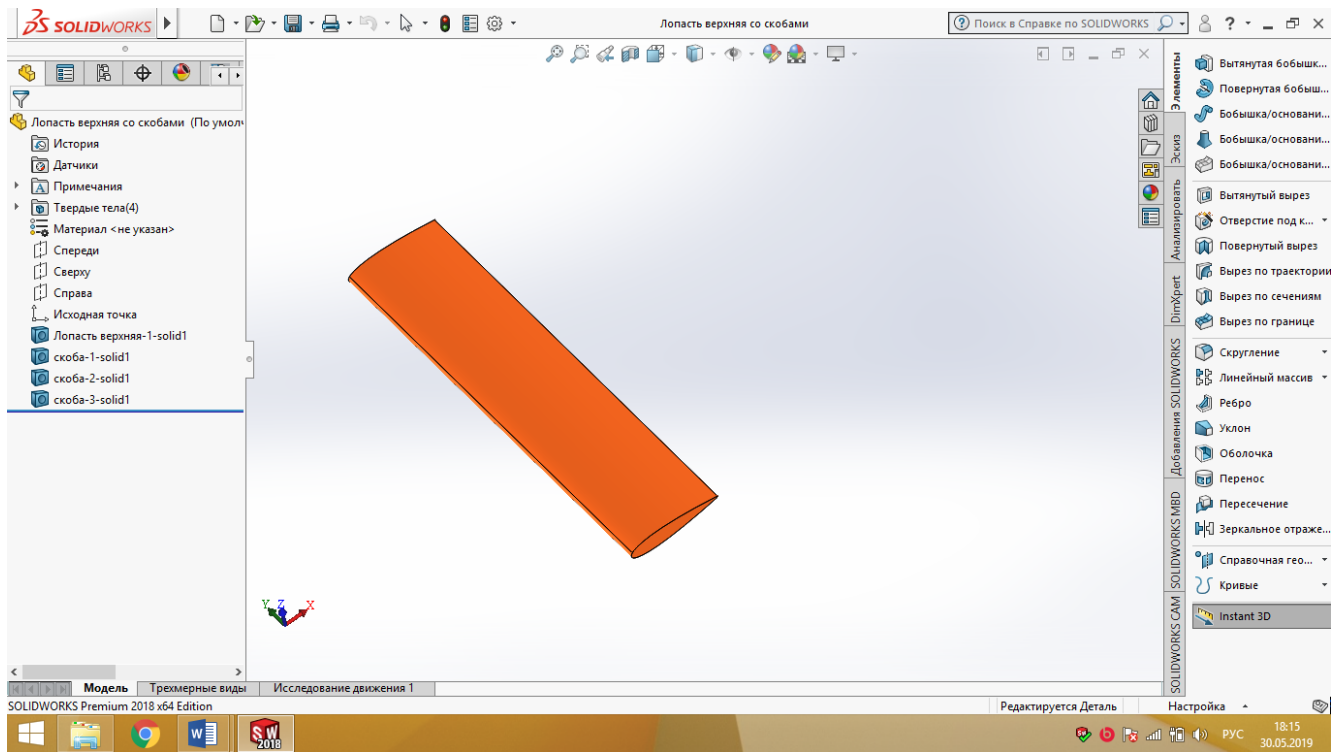


Рис.8.1.1 Лопастей ветрогенератора мобильной энергоустановки.

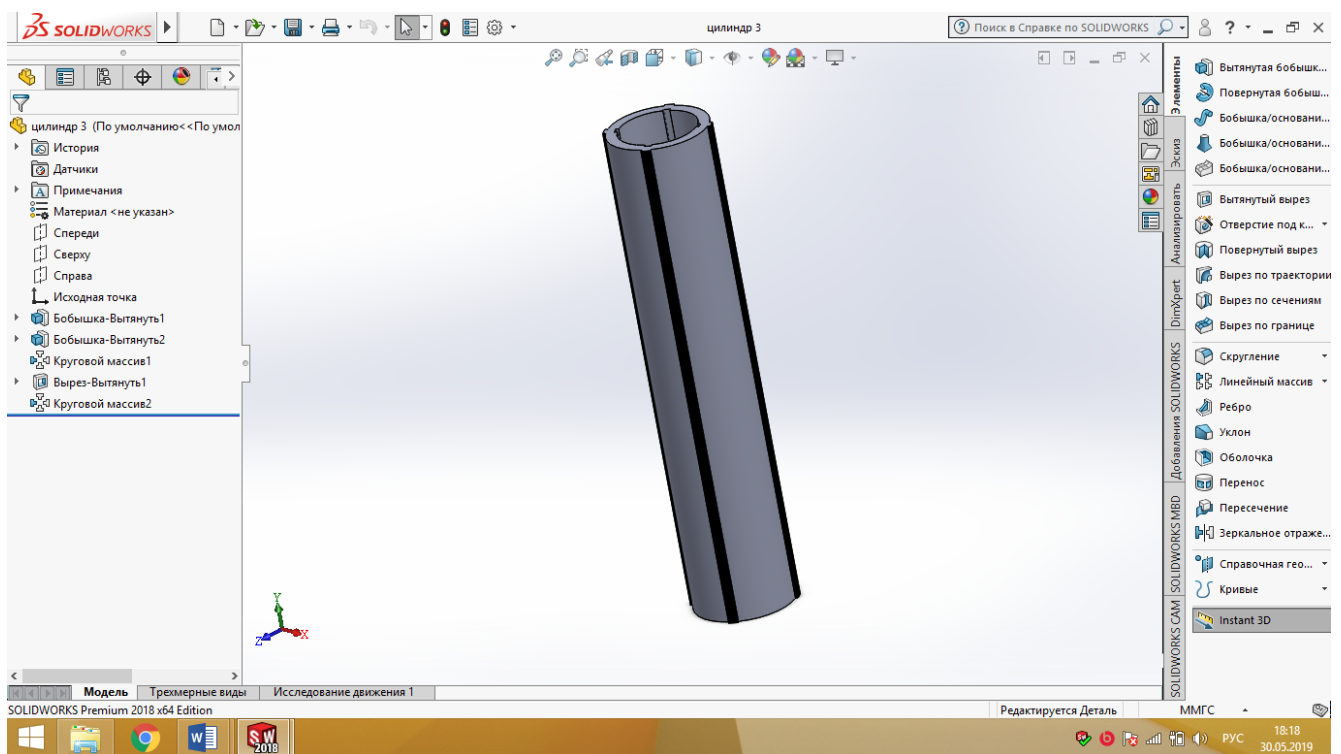


Рис.8.1.2. Звено мачты ветроколеса мобильного энергокомплекса

После создания всех элементов комплекса, из собирают в единую сборку.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Ни рисунках 8.4, 8.5, 8.6 представлены составляющие сборки мобильного энергокомплекса. На рисунке 8.7 изображен транспорт на который планируется устанавливать энергокомплекс.

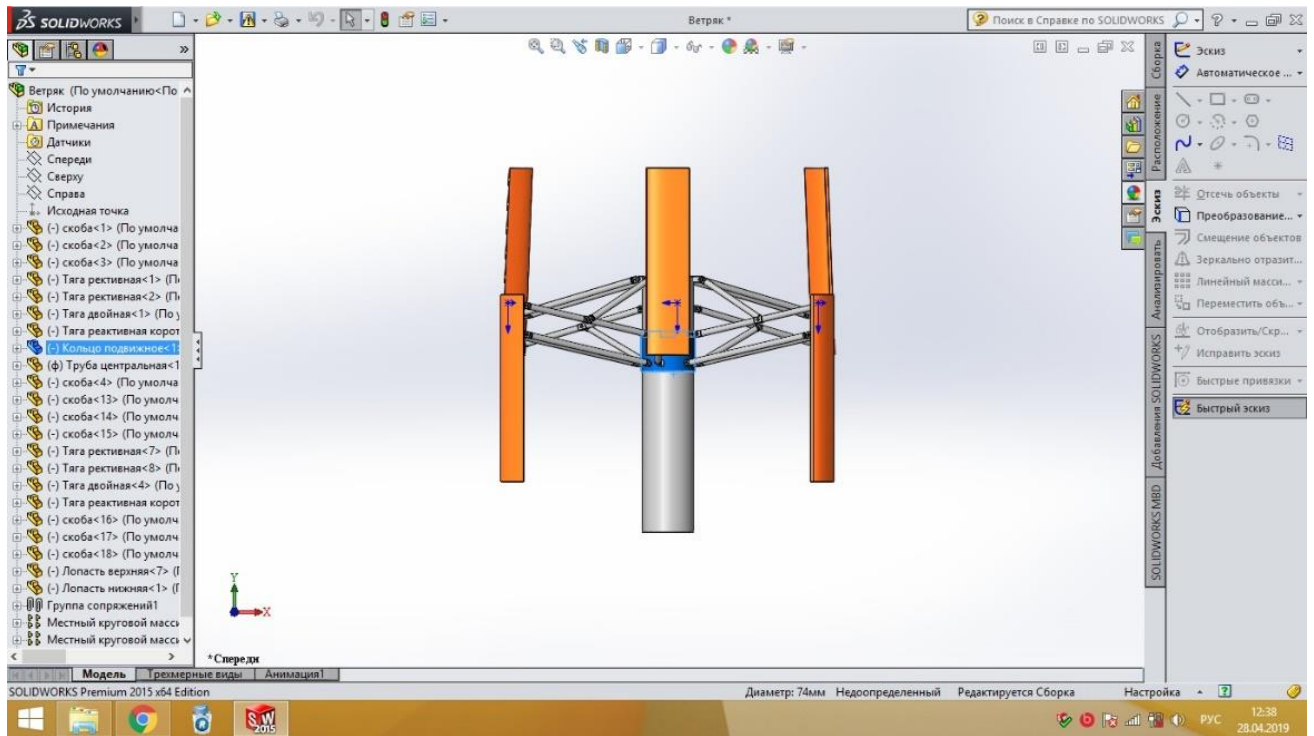


Рис.8.1.4. Ветроколесо мобильного энергокомплекса.

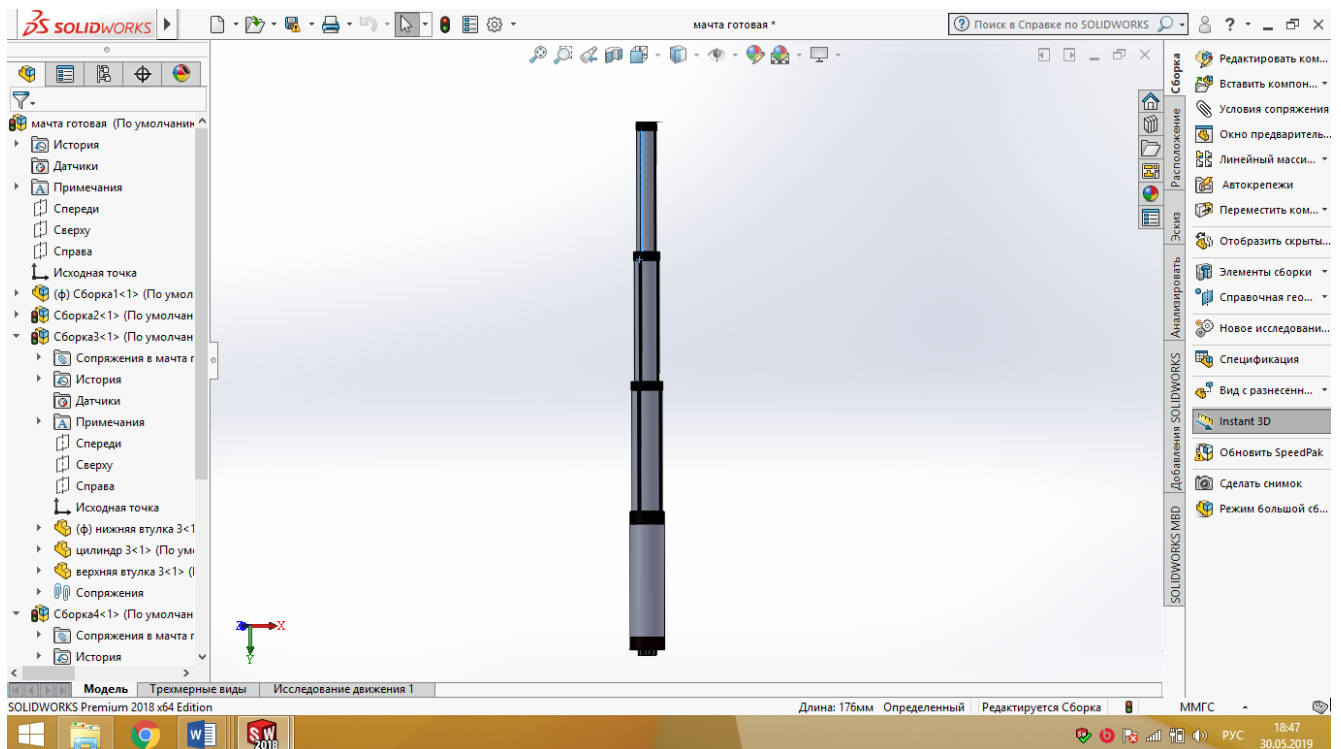


Рис.8.1.5. Мачта мобильного энергокомплекса.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Лист

67

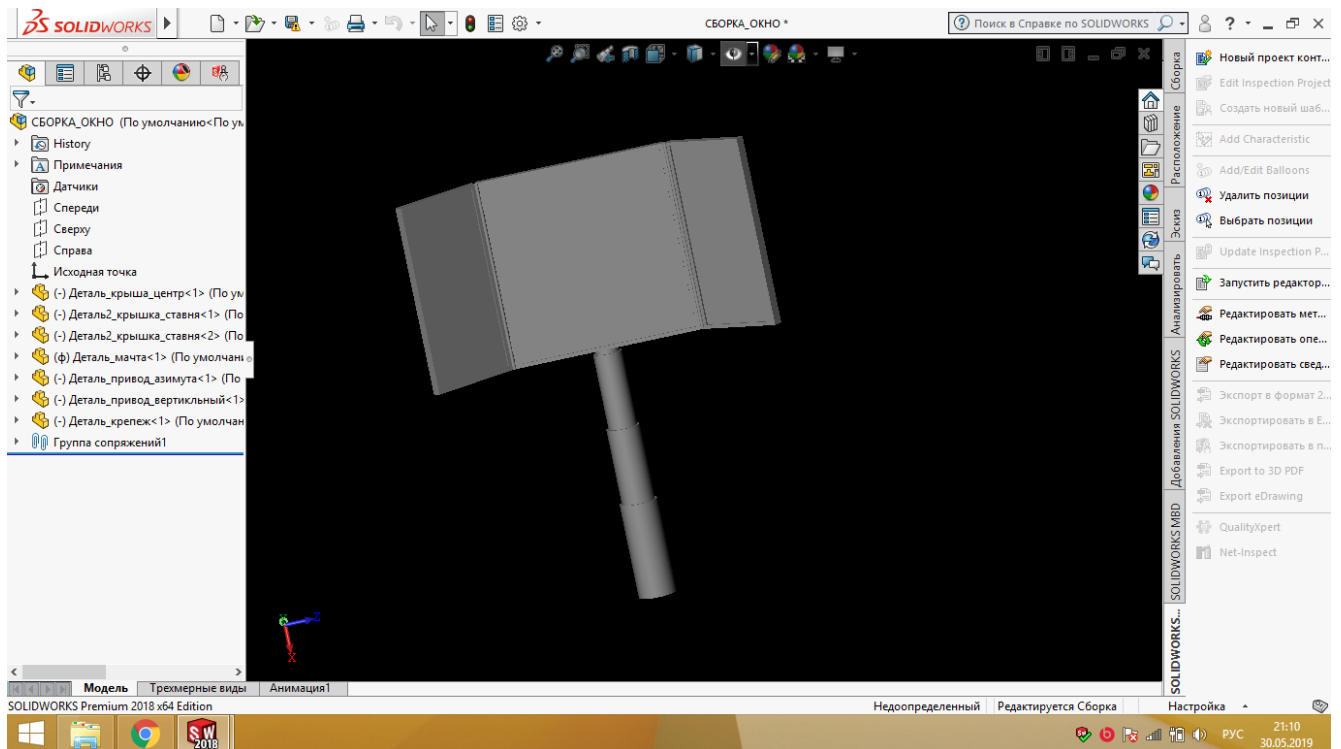


Рис. 8.1.6. Солнечные панели мобильного энергокомплекса

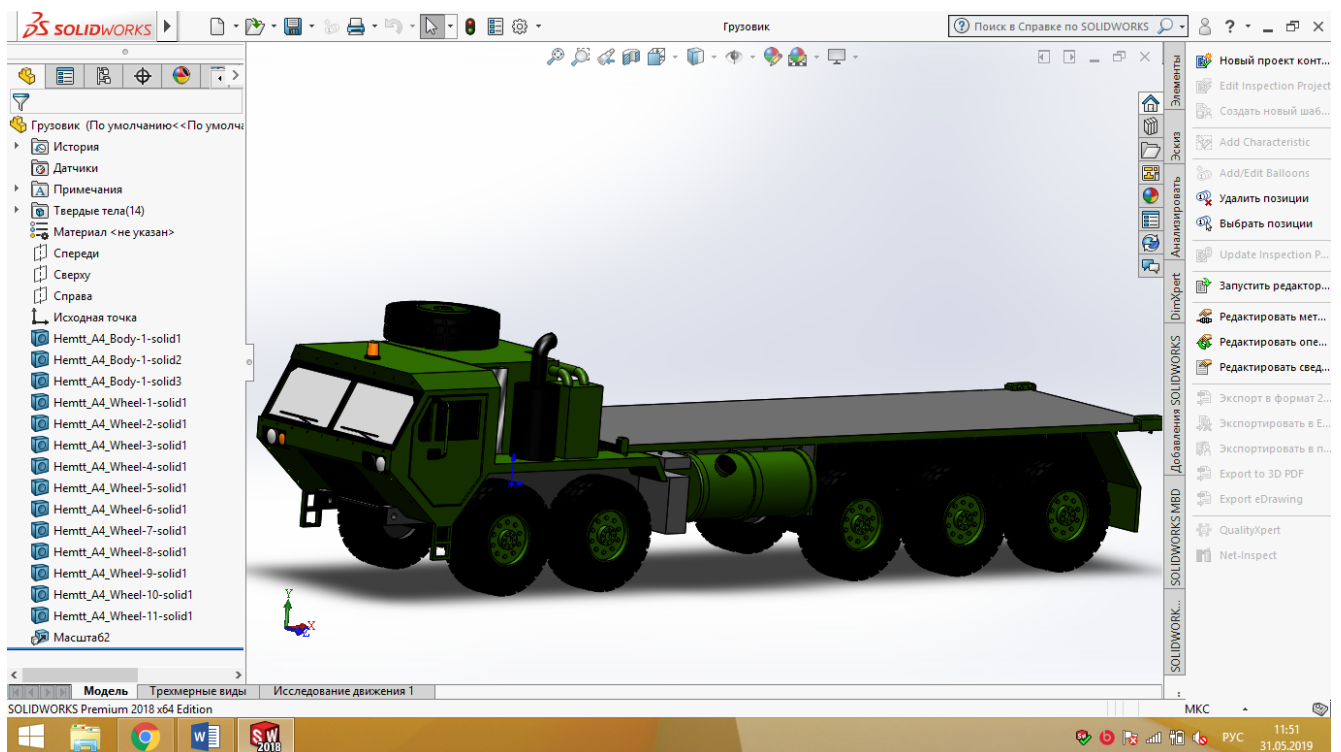


Рис.8.1.7 Автомобиль с платформой.

На рисунках ниже изображены готовая модель мобильного энергокомплекса в походном и развернутом состоянии.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		68

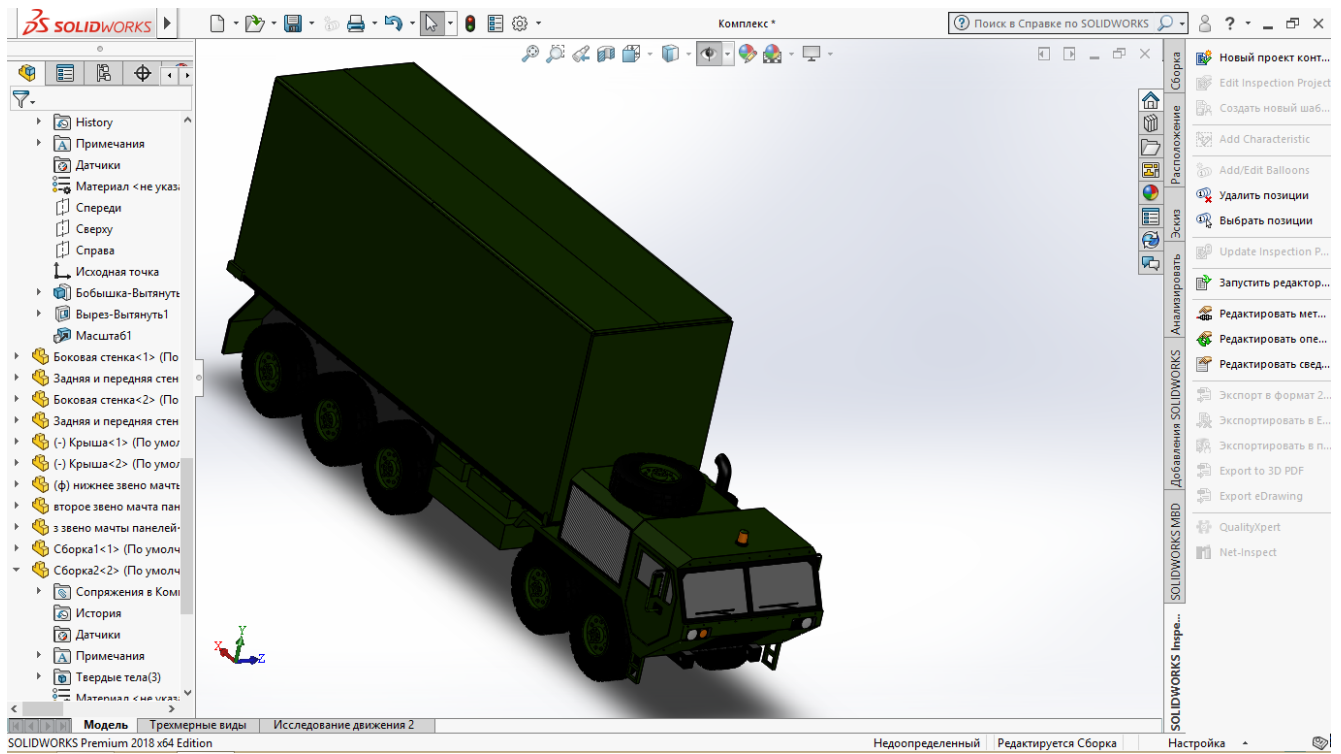


Рис.8.1.8. Мобильная энергоустановка в походном состоянии.

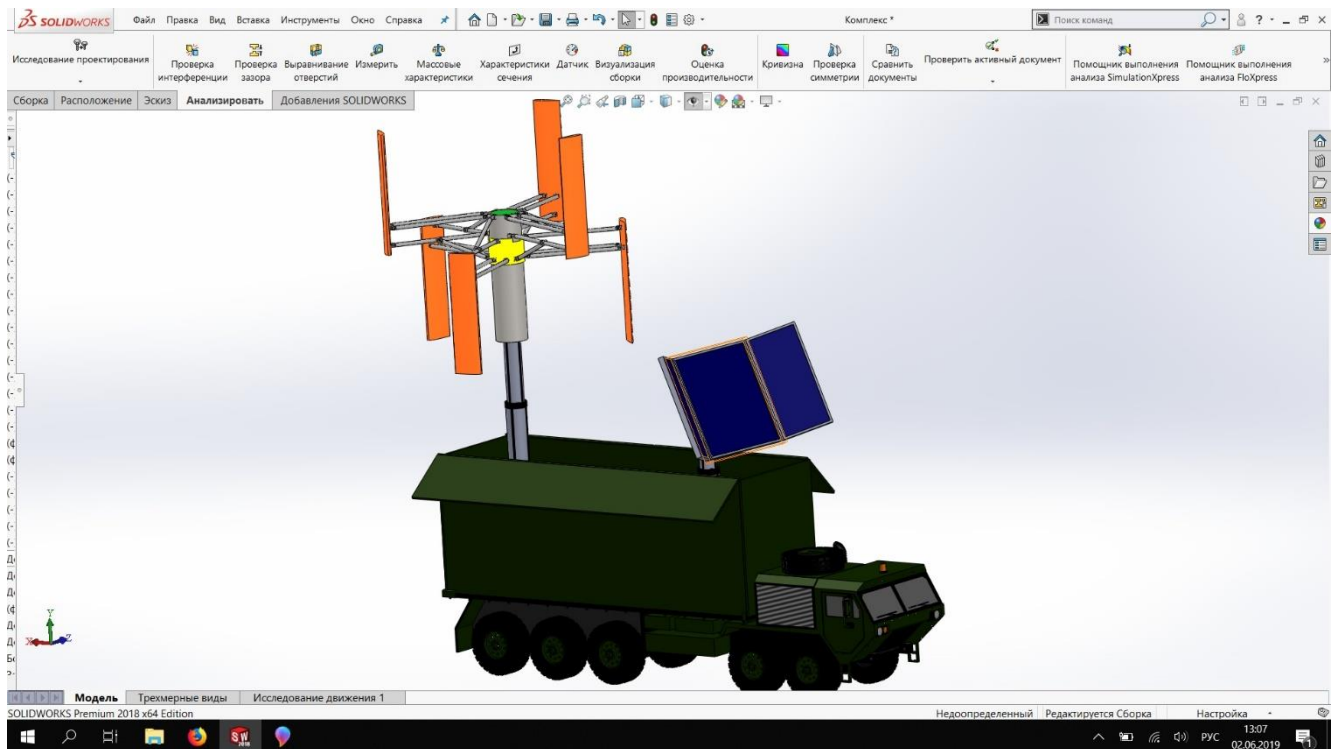


Рис.8.1.9. Мобильная энергоустановка в развернутом состоянии

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ

Лист

69

8.2 Выводы по разделу 8

Данная модель поможет ускорить проектирование энергокомплекса и повысить эффективность подбора оптимальных параметров, участвующих в генерации электроэнергии, компонентов.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		70

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ВКР был произведен анализ мировых ветропарков, согласно ему наиболее крупнейшим рынком ветроэнергетики является Китай. Также была проблема электроснабжения децентрализованных зон. К основным причинам, приведшим к проблеме электроснабжения таких регионов относят: недопустимый износ производственного оборудования на электростанциях и других энергетических объектах, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500-600 г у.т./кВт·ч при КПД 20-25 %), зависимость от своевременного завоза топлива. Одним из наиболее рациональных решений данного вопроса является комбинированное применение возобновляемых источников энергии. Ввиду этого разработка мобильных энергетических установок является перспективной задачей. Результатами ВКР является, выбор наиболее оптимального механизма подъема ветроколеса, выбор привода подъема. Был произведен расчет электродвигателя, выбор преобразователя напряжения и аккумуляторных батарей. Для рас счета характеристик двигателя были задействованы современные программные средства Nard. Также согласно заданию на ВКР была создана 3D-модель мобильной установки в программном комплексе SolidWorks.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		71

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Всемирная ветроэнергетическая ассоциация. - <https://wwindea.org/>
2. Будущее возобновляемых источников энергии. - <http://www.ren21.com>
3. Долгошеев, В.В. Обзор мировой ветроиндустрии за 2016 год / В.В. Долгошеев, Д.В. Коробатов, А.С. Мартьянов, А.А. Мирошниченко А.А. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2018;(7-9):105-113
4. Соломин, Е.В. Анализ развития мировой ветроэнергетической промышленности за 2010–2013 года / Соломин Е.В., Аникин А.С., Сироткин Е.А. // В сборнике: Наука ЮУрГУ Материалы 66-й научной конференции (Электронный ресурс). Ответственный за выпуск: Ваулин С.Д. 2014. С. 1366-1370.
5. Заседание президиума Государственного совета №36. Доклад "Об основах государственной политики Российской Федерации в районах Севера. - <http://archive.kremlin.ru/text/appears2/2004/04/28/97302.shtml>
6. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года. Москва - <http://media.rspp.ru/document/1/c/e/ceef7d9d4df403f7f78fa3bd217d7285.pdf> (05.11.2014)
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 г. № 321 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики"- <http://pravo.gov.ru/laws/acts/37/515049.html> (06.11.2014)
8. Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Кокин С.Е., Паздерин А.В. Научные проблемы распределенной генерации // Изв. вузов: Проблемы энергетики. 2010. № 11-12. С. 126-133.
9. Суржикова О.А. Техничко-экономические проблемы и перспективы энерго-снабжения изолированных потребителей Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2006. № 1 (43). С. 141-146.
10. Мяки А.Э. Истинные причины проблем отопления в северных регионах//Топливоно-энергетический комплекс. - 2003. -№ 2. -С. 95-98.

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		72

11. Федеральная программа "Энергообеспечение районов Крайнего Севера и приравненных к ним территорий, а также мест проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока за счет использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии и местных видов топлива". -М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1996. -27 с.

12. Комбинированные энергетические установки в система автономного электроснабжения - <http://tehnodacha.ru/news/stat/>

13. Функционирование и развитие электроэнергетики Российской Федерации. Информационно аналитический доклад. Министерство энергетики РФ. 2011. -384 с.

14. Попель, О.С. Перспективные применения возобновляемых источников энергии -в мировой практике и в России. Научная конференция фонда Сколково Презентация - <http://www.gosbook.ru/node/36164> (05.11.2014).

15. Иванова И.Ю., Петров Н.А., Тугузov Т.Ф. Системная оценка эффективности вариантов энерго-, топливоснабжения децентрализованных потребителей. Методические подходы и результаты исследований. ИСЭМ СО РАН, ИФТПС СО РАН. - http://www.eriras.ru/files/ivanovaenjergosnabzhjenije_djecjentr_potrjeb.pdf

16. Мирошниченко А.А. О недостатке использования дизельных генераторов при электроснабжении автономных потребителей //Международный научно-практический журнал «Интеграция наук». 2018. №8(23). С.599-600.

17. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. 2012. №3(4). С.103-108.

18. Удалов С.Н. Возобновляемая энергетика: Учебник/С.Н. Удалов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, -2016. -607 С

19. Почти все об альтернативной энергетике и энергосбережении. - http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gb_00.html

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		73

20. Мирошниченко А.А. Обзор идеи по разработке мобильного масштабируемого энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии // Академический журнал Западной Сибири. 2018. Т. 14. № 4 (75). С. 61-66.

21. Михайлов А. Малая энергетика России. Классификация, задачи, применение. / Михайлов А., Агафонов А., Сайданов В. // Новости Электротехники: Информационно-справочное издание. — Санкт-Петербург, 2005. — № 5.

22. Генераторы и дизель электростанции. - <http://generator-shop.ru>.

23. ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное. Технические условия». Межгосударственный стандарт-Введ. 01.01.1083. - М.: Стандартинформ. 2009.

24.Официальный производитель силового оборудования - <https://skatpower.ru/school-of-consumer>

25. Долгошеев В.В. Обзор мировой ветроиндустрии за 2016 год. / Долгошеев В.В. Коробатов Д.В., Мартьянов А.С., Мирошниченко А.А., Мужагитов Я.Р., Хвостов Д.А., Чиненов М.С. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2018;(7-9):105-113

26. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие к практическим занятиям / И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, – 2009. – 50 с

27. Сироткин, Е.А. Электромеханическая система аварийного торможения ветроэнергетической установки / Соломин Е.В., Сироткин Е.А., Козлов С.В.//Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 1 (30). – С. 19-23

28. Коробатов Д.В. Управление мощностью ветроэнергетической установки // Международная IEEE научно-техническая конференция «Динамика систем, механизмов и машин». – 2016. – С.1-5.

29. Никитин В.В. Примеры расчетов механизмов подъемно-транспортных машин. - Брянск: Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии, 2011. – 68

30. Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Специальные грузоподъемные машины. Лебедки: учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. — 64 с

31. Редукторы и мотор-редукторы общемашиностроительного применения: Справочник/Л. С. Бойко, А. З. Высоцкий, Э. Н. Галиченко и др.—М.: Машиностроение, 1984. — 247 с, ил

32. Таубер Б.А. Подъемно-транспортные машины. Учебник для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Экология, 1991. — 528 с. — ISBN 5-7120-0230-2.

33. Ковалевский В.И. Подъемно транспортные установки и оборудования. Учебное пособие. — СПб.: ГИОРД, 2013. — 672 с.

34. Система резервного питания. - <https://www.solnechnye.ru/inventory>

35. Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю. Расчет емкости аккумуляторных батарей // Молодой ученый. — 2016. — №17. — С. 99-101

36. Метод расчета автономной работы ИБП. - <http://electrokaprizam.net>

					13.03.02.2019.204.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		75