

- более долговечны;
- меньшие габаритные размеры;
- ниже эксплуатационные расходы;
- более высокий коэффициент полезного действия (достигает 98%);

Таким образом, мы можем выделить следующие особенности электродных котлов:

- За счет простоты конструкции и принципа нагрева тепловые потери в котле сведены к минимуму, КПД электродных котлов близки к 100 (96-98%)
- Если из системы отопления по какой-либо причине вытекает теплоноситель, то электродный котел просто перестает работать из-за размыкания цепи, тем самым предотвращая аварийную ситуацию.
- Энергопотребление электродных котлов напрямую зависит от температуры теплоносителя - чем ниже температура воды в системе, тем ниже энергопотребление.
- Рабочая температура электродного котла не должна превышать 75 градусов - при увеличении температуры увеличивается мощность котла, и, как следствие, нагрузка на электросеть.
- Электродные котлы менее инертны, что позволяет быстрее разгонять систему до заданной температуры и эффективнее применять управляющую автоматику.
- Электродные котлы не чувствительны к перепадам напряжения. С изменением напряжения изменяется лишь мощность котла, а в целом он продолжает работать.
- Малые габариты и низкая стоимость.
- Электродные котлы требовательны к качеству теплоносителя.
- При установке электродного котла необходимо наличие хорошего заземления - из-за значительных токов утечки подключение котла после устройства защитного отключения невозможно.

Научный руководитель: Ю.П. Шаркеев, д.ф.-м.н., профессор ФТИ ПУ.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

А.В. Зданович
Сибирский федеральный университет

В настоящее время в сфере автономной ветроэнергетики растет интерес к высокоэффективным ветродизельным комплексам (ВДК), позволяющим значительно снизить затраты на дорогостоящее и труднодоступное в отдаленных районах дизельное топливо.

Вовлечение таких комплексов в энергобаланс позволит повысить уровень жизни местного населения, снизить зависимость от поставок топлива и снаб-

жать населенный пункт электроэнергией со значительно меньшими перерывами.

Ветер – возобновляемый источник энергии (ВИЭ), имеющий свои особенности, такие как: неуправляемость, сезонная изменчивость как по направлению, так и по скорости. Возникает необходимость оценки основных показателей надежности ВДК, которую можно провести, используя наиболее подходящие для этого методы (аналитический, метод марковских процессов, метод дерева отказов, таблично-логический и др.), описанные в источниках [1], [2], [3].

В качестве основного метода анализ надежности выбран метод дерева отказов (ДО) с формированием логической функции отказа (ЛФО) и разделением отказов на длительные, кратковременные и отказы из-за погодных условий. Данный метод является дедуктивным и применим в тех случаях, когда число различных отказов системы невелико [4].

Длительные отказы связаны с отключениями оборудования на время его замены или аварийного ремонта, а также с отказами элементов, которые не могут быть отсоединены от распределительного устройства (РУ) разъединителями.

Кратковременные отказы характеризуются отказами в срабатывании коммутационных аппаратов (КА), отходящих линий электропередач и элементов, которые могут быть отсоединены от РУ путем оперативных переключений [4].

Формирование ЛФО происходит после построения ДО системы путем выполнения указанных в блок-схеме операций логического умножения («И») и логического сложения («ИЛИ») над символами первичных событий, начиная с нижнего уровня [4].

В результате ЛФО для конечного события будет представлена логической суммой (дизъюнкцией) конъюнкций первого порядка (элементарные события), конъюнкций второго и третьего порядков, что может быть описано формулой:

$$ЛФО = \bigcup_i y_i \bigcup_k (y_i \cap x_{ок k}) (\bigcup_{ij} y_i \cap y_j) \bigcup_{ij} (y_j \cap y_i) \bigcup_{ijk} (y_i \cap y_j \cap x_{ок k}), \quad (1.1)$$

где y_i, y_j, y_k – элементарные события (отказы элементов i, j, k); $x_{ок k}$ – события отказов срабатывания КА, устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) для элемента k ; y_i, y_j – ремонтное состояние элементов i и j (обозначается знаком «тильда»).

Полученная ЛФО подвергается упрощению по правилам алгебры логики [5]. Перейдя от логической записи ЛФО к алгебраической, можно непосредственно приступать к расчету показателей надежности. Вероятность простоя элемента, о. е., определяется по формуле [4]:

$$q(y) = \lambda(y) \cdot \tau(y), \quad (1.2)$$

где $\lambda(y)$ — интенсивность (частота) отказа элемента y , 1/год; $\tau(y)$ — среднее время его восстановления, лет.

Выражение для оценки частоты отказа ВДК:

$$\Lambda_{ВДК} = \sum_i \lambda(y_i) + \sum_k \lambda(y_k)Q(x_{oc k}) + \sum_{ij} \lambda(y_i)q(y_j) + \sum_{ji} \lambda(y_j)q(y_i) + \sum_{ijk} \lambda(y_i)q(y_j)Q(x_{oc k}), \quad (1.3)$$

где i, j, k —элементы системы; $\lambda(y_i)$ – интенсивность отказов элементов; $Q(x_{oc k})$ – условная вероятность отказа срабатывания КА и РЗиА.

Выражение для расчета вероятности состояния отказа (относительной длительности):

$$q_{ВДК} = \sum_i \lambda(y_i)\tau(y_i) + \sum_k \lambda(y_k)Q(x_{oc k})\tau(y_k \cap x_{oc k}) + \sum_{ij} \lambda(y_i)q(y_j)\tau(y_i \cap y_j) + \sum_{ji} \lambda(y_j)q(y_i)\tau(y_j \cap y_i) + \sum_{ijk} \lambda(y_i)q(y_j)Q(x_{oc k})\tau(y_i), \quad (1.4)$$

где $\tau(y_k \cap x_{oc k})$ – среднее время восстановления при отказе в отключении повреждения на присоединении; $\tau(y_i \cap y_j)$ – среднее время восстановления при совпадении отказа одного элемента системы с ремонтом другого.

В качестве примера оценки надежности рассмотрим принципиальную схему ВДК, установленного на Севере Красноярского края (Рис.1). В состав ВДК входят: 2 ветроэнергетические установки (ВЭУ) мощностью 150 кВт каждая, 2 ДГ мощностью по 300 кВт, аккумуляторная батарея (АБ) и инвертор. ДО для схемы ВДК приведено на Рис. 2.

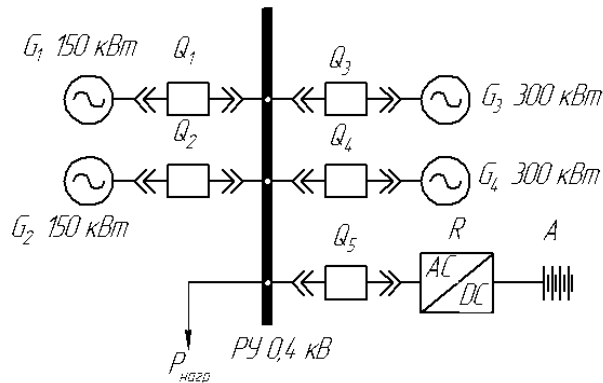


Рис.1. Принципиальная схема ВДК: G_1, G_2 – ВЭУ; G_3, G_4 – дизель-генераторы; $Q_1- Q_5$ – выключатели; R – инвертор; A – аккумуляторная батарея; $P_{нагр}$ – нагрузка

Логические функции отказов для конечного события после сокращений примут вид:

$$ЛФО(ВДК)_{ДО} = [G_w G_w + QG_w] \cdot [(A + R + Q) \cdot (G_d G_d + G_d Q)], \quad (1.5)$$

$$ЛФО(ВДК)_{КО} = RQ_{oc} + Q + G_d Q_{oc} + G_w Q_{oc}, \quad (1.6)$$

$$ЛФО(ВДК)_{погодн.} = (G_d Q + G_d G_d) Q_{oc} q_V^*, \quad (1.7)$$

где G_w, G_d, A, R, Q – коды ВЭУ, ДГ, АБ, инвертора и выключателя на схеме; Q_{oc} – условная вероятность отказа в срабатывании КА; q_v^* – вероятность простоя ВЭУ из-за погодных условий, о. е., определяемая по формуле:

$$q_v^* = q_v q, \quad (1.8)$$

где q_v – коэффициент простоя ВЭУ по причине погодных условий, о.е.; q – условная вероятность появления нерасчетной скорости ветра. Справочные данные (Табл. 1 и Табл. 2) взяты в [2] и [4]. Результаты расчетов помещены в Табл.3.

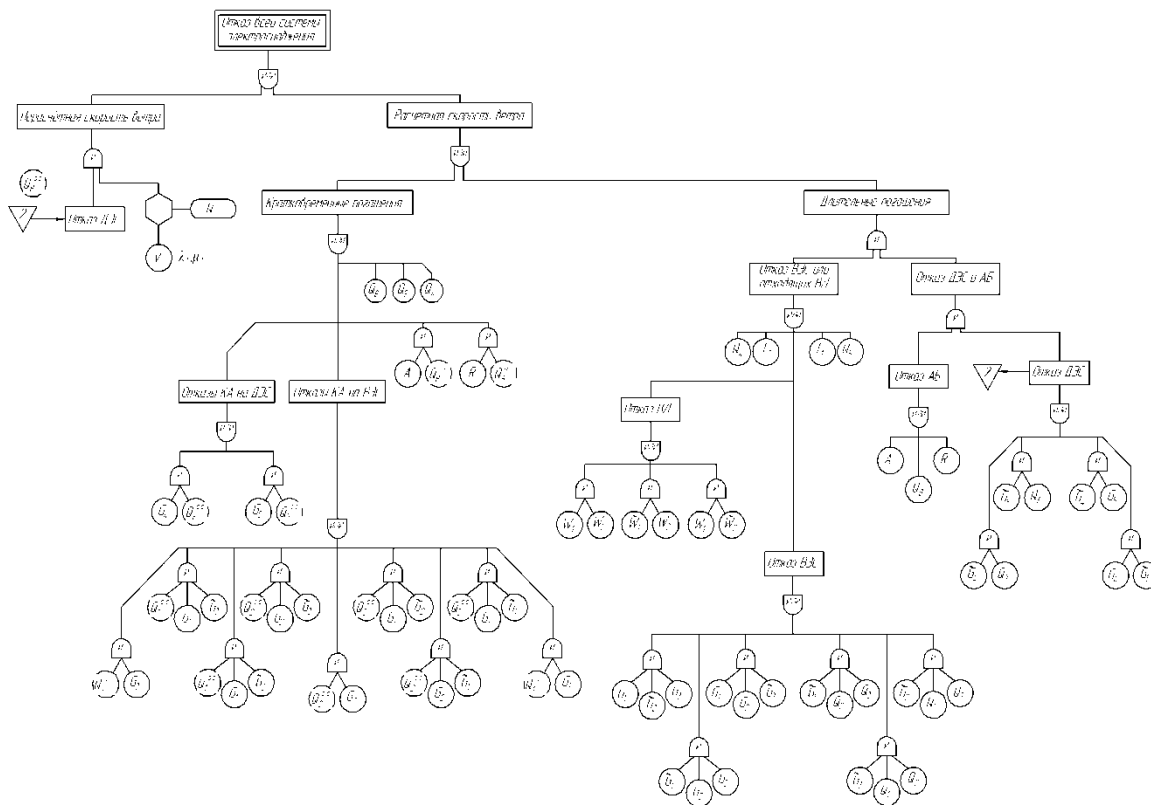


Рис. 2. Дерево отказов ВДК

Табл. 1. Справочные данные для учета влияния погодных условий на Севере Красноярского края

Параметр	q	T_0	T_N	λ_v , 1/год	μ_v , 1/год	q_v	q_v^*
Значение	0,05	0,42	0,58	2,38	1,72	0,57	0,0285

Табл. 2. Показатели надежности элементов ВДК

Код элемента	Элементы ВДК	Значения показателей надежности		
		$\lambda(y)$	$\tau(y)$	$q(y)$
G_w	ВЭУ Nordwind-150	1,1	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$3,61 \cdot 10^{-3}$
G_d	Дизель-генератор	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$
R	Инвертор	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
A	Аккумуляторная батарея	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Q	Выключатель	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$

Табл. 3. Результаты расчетов показателей надежности ВДК

Параметр	Длительные погашения	Кратковременные погашения	Отказы из-за погодных условий	Сумма
Частота отказов $\Lambda(\text{ВДК})$, 1/год	$8,85 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
Вероятности отказа $q(\text{ВДК})$, о.е.	$6,36 \cdot 10^{-18}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-12}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$

На основании расчетов установлено, что частота и вероятность отказа ВДК крайне мала, следовательно, будет выполняться частичное замещение дорогостоящего дизтоплива возобновляемым источником энергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьева О.А. Анализ надежности автономного ветродизельного комплекса // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – №243. – С. 45-52.
2. Гук Ю.Б. и др. Расчет надежности схем электроснабжения / Гук, Ю.Б., Синенко М.М., Тремясов В.А. – Л.: Энергоатомиздат, – 1990. – 208 с.
3. Бобров А.В., Тремясов В.А. Ветродизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении: монография. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 216 с.
4. Borges C.L. T. An overview of reliability models and methods for distribution systems with renewable energy distributed generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – №16, p. 4008-4015.
5. Fault Tree Handbook // Vesely W.E, Goldberg F.F., Roberts N.H., Haasl D.F.–Washington.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981. –209 p.

Научный руководитель: В.А. Тремясов, к. т. н., проф. кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Сибирского федерального университета.

РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.И. Савельев, К.Д. Крестовников, С.В. Солёный
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Технологии беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса выглядят весьма перспективными ввиду стремительного развития электрического транспорта и автономных робототехнических систем [1-3]. В частности, вмонтированные в дорожные покрытия «заряжающие полосы», позво-