

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ВЕТРОПАРКОВ

**Мирошниченко Т. В.,**

**научный руководитель канд. техн. наук Тремясов В. А**

*Политехнический институт СФУ*

Оценка надежности ветроэнергетических установок (ВЭУ) необходима для более точного определения выработки электроэнергии ВЭУ. Опыт эксплуатации, показывает, что ВЭУ вырабатывает меньше расчетного количества электроэнергии по причине отказа её основных узлов. Отказ узлов ветроустановки, как правило, происходит во время её эксплуатации. Следовательно, период восстановления будет приходиться на период ветреной погоды, благоприятной для выработки электроэнергии ВЭУ. Для определения ущерба от ненадежности оборудования необходимо знать статистические данные по отказам и времени восстановления элементов и ВЭУ в целом.

Некоторые производители приводят статические данные своих ВЭУ. В этом случае определение выработки рассчитывается исходя из параметров надежности, представленных предприятием-изготовителем. Однако, не все производители мощных ВЭУ открыто публикуют показатели надежности, а по некоторым агрегатам (например, ТГ-750 и ТГ-1000) такой информации вообще не имеется, поскольку агрегаты были разработаны и введены в эксплуатацию в единичных экземплярах и не отработали заложенный срок службы и статистические данные по отказам этих ВЭУ отсутствуют.

Для оценки надежности ВЭУ применяют аналитический метод. При этом ВЭУ представляют в виде системы, состоящей из ряда последовательно соединенных элементов в смысле надежности. Отказ каждого из них может привести к утрате способности функционирования всего агрегата.

Расчетную схему для оценки надежности ВЭУ можно представить в виде одиннадцати последовательно соединенных элементов. Средние интенсивность отказов и время восстановления каждого элемента ВЭУ зарубежного производства представлены в таблице 1.

Таблица 1-Интенсивность отказов и среднее время восстановления элементов ВЭУ

Наименование элемента	Интенсивность отказов $\lambda_{Эi}$ , 1/год	Время восстановления $\tau_{Эi}$ , дней
Лопасты	0,12	5,5
Мультипликатор	0,09	8
Генератор	0,09	9,5
Гидропривод	0,17	1,9
Поворотное устройство	0,14	3,9
Система управления	0,32	2,7
Механический тормоз	0,1	3,8
Крепление лопастей	0,09	4,5
Сенсоры	0,19	2,1
Силовая электроника	0,5	2,5
Вспомогательные сооружения	0,12	4,8

Тогда, интенсивность отказов ВЭУ будет определяться по формуле

$$\lambda_{\text{ВЭУ}} = \sum_{i=1}^{11} \lambda_{\text{Э}i} \quad (1)$$

Среднее время восстановления ВЭУ с учетом интенсивности отказов каждого элемента составит

$$\tau_{\text{ВЭУ}} = \frac{\sum_{i=1}^{11} \lambda_{\text{Э}i} \cdot \tau_{\text{Э}i}}{\lambda_{\text{ВЭУ}}} \quad (2)$$

Общая интенсивность отказов всех элементов для зарубежных ВЭУ (интенсивность отказов ВЭУ), исходя из формулы (1) будет составлять  $\lambda_{\text{ВЭУ}}=1,89$  1./год. Однако ряд зарубежных производителей ВЭУ имеют собственные исследования, касательно надежности ветроустановок.

При расчетах надежности ВЭУ, произведенных в России, делается допущение, что интенсивность отказов ВЭУ отечественного производства равна интенсивности отказов ВЭУ «Радуга-1», которая определяется данным исследований Тушинского Машиностроительного завода и составляет  $\lambda_{\text{ВЭУ}}=4,4$  ед./год.

Также при анализе надежности ВЭУ необходимо учитывать влияние безветренной погоды, и чаще всего погода представляется моделью с двумя состояниями – чередующимися периодами «нормальной» и «плохой погоды». В этой модели все типы плохой погоды (штиль, слабый ветер, штормовой ветер, гололед) объединяются в одном единственном состоянии. В большинстве случаев это приближение может считаться удовлетворительным.

При объединении нескольких ВЭУ в ветропарки, параметры надежности рассчитываются для всего ветропарка с учетом интенсивности отказов и восстановления каждой ветроустановки.

Для построения модели надежности парка ВЭУ с учетом погодных условий используется метод пространства состояний (марковские процессы). Использование этого метода предполагает описание подлежащей анализу системы рабочими состояниями и состояниями отказа, а также интенсивностями возможных переходов между этими состояниями. Для решения задач надежности систем с число возможных состояний больше двух составляют матрицу состояний, раскрывая которую получают систему дифференциальных уравнений, описывающих связь между вероятностями пребывания системы в каждом из возможных состояний. Решением этой системы является график зависимости распределения вероятностей от времени. Для получения общего и частных решений систем дифференциальных уравнений была разработана компьютерная программа, реализованная в среде Mathcad 14.

Рассмотрим два ветропарка, каждый из которых состоит из двух ВЭУ «Vestas-V52» и «Радуга-1». Ветропарки расположены в районах с разным ветроэнергетическим кадастром. В качестве исследуемых населенных пунктов взяты поселки Диксон и Волочанка. Общее решение системы дифференциальных уравнений для парка ВЭУ «Vestas-V52» и «Радуга-1» представлены на рисунках 1, 2. Исследуемый период времени равен сроку службы, установленному заводом изготовителем – 25 лет.

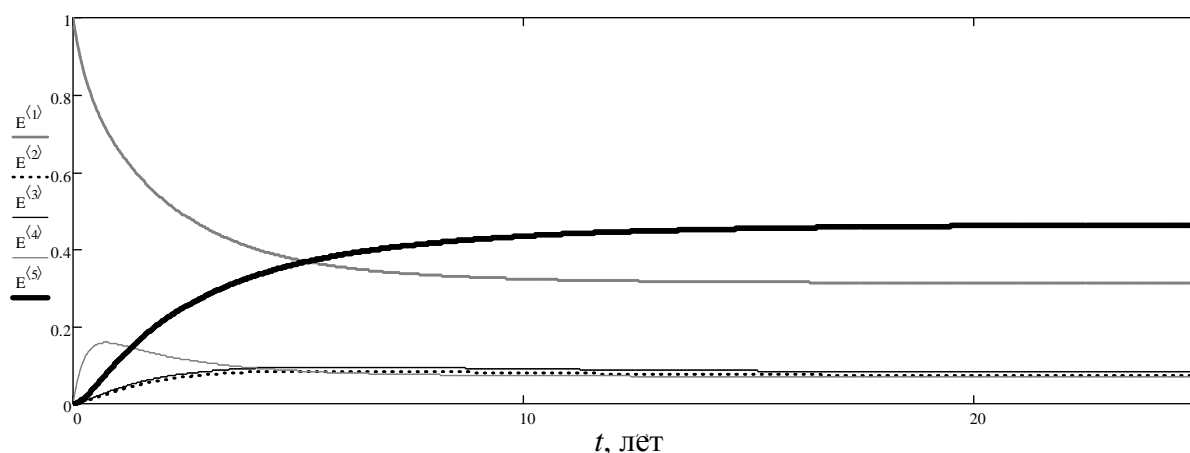


Рисунок 1- Распределение вероятности состояний ВЭУ «Vestas-V52» и ВЭУ «Радуга-1» в пос. Диксон

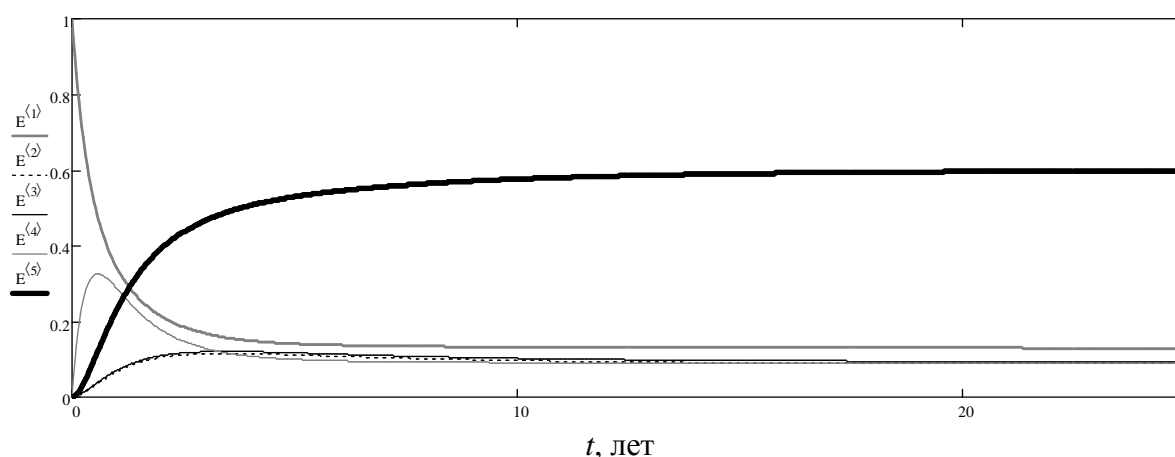


Рисунок 2 - Распределение вероятности состояний ВЭУ «Vestas-V52» и ВЭУ «Радуга-1» в пос. Волочанка

Графики, представленные на рисунках 1, 2 характеризуются следующими состояниями:  $E^{<1>}$  – обе ВЭУ в работоспособном состоянии;  $E^{<2>}$  – ВЭУ «Vestas-V52» в аварийном состоянии, ВЭУ «Радуга-1» в работоспособном;  $E^{<3>}$  – ВЭУ «Радуга-1» в аварийном состоянии, ВЭУ «Vestas-V52» в работоспособном;  $E^{<4>}$  – обе ВЭУ неработоспособны или остановлены;  $E^{<5>}$  – имеются условия для восстановления обеих ВЭУ.

Из графиков следует, что вероятность состояния  $E^{<2>}$  будет выше, чем вероятность состояний  $E^{<3>}$ , следовательно установка производства Дании «Vestas-V52» обладает большей надежностью, чем отечественная ВЭУ «Радуга-1». Из чего следует, что коэффициент готовности  $K_r$ , характеризующий вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, у ветропарка с ВЭУ «Vestas-V52» будет больше.

Коэффициенты готовности для ветропарков, состоящих из набора одинаковых ВЭУ, представлены в таблице 2 и на рисунках 3-6. Расчеты произведены для трех населенных пунктов Таймыра (Диксон, Хатанга, Волочанка), а также для территории острова Правды, где расположена еще одна из метеостанций Таймыра.

Таблица 2 - Значения коэффициента готовности для ветропарков в районах с разным ветроэнергетическим кадастром

Кол-во ВЭУ	пос. Диксон			пос. Хатанга			пос. Волочанка			Остров Правды		
	«Радуга - 1»	«ТГ-750»	«Vestas-V52»	«Радуга - 1»	«ТГ-750»	«Vestas - V52»	«Радуга - 1»	«ТГ-750»	«Vestas - V52»	«Радуга - 1»	«ТГ-750»	«Vestas - V52»
2	0,47	0,51	0,59	0,36	0,41	0,49	0,31	0,31	0,38	0,38	0,39	0,47
3	0,53	0,55	0,63	0,45	0,46	0,56	0,42	0,39	0,49	0,47	0,45	0,54
4	0,6	0,6	0,69	0,54	0,53	0,63	0,51	0,47	0,58	0,55	0,52	0,63
5	0,66	0,66	0,74	0,61	0,6	0,69	0,59	0,54	0,65	0,62	0,58	0,68
6	0,71	0,70	0,79	0,68	0,65	0,75	0,65	0,61	0,71	0,67	0,65	0,74
7	0,75	0,74	0,82	0,72	0,70	0,79	0,7	0,66	0,76	0,72	0,69	0,78
8	0,79	0,78	0,85	0,76	0,74	0,82	0,74	0,71	0,79	0,76	0,73	0,82
9	0,81	0,81	0,87	0,797	0,77	0,85	0,78	0,74	0,83	0,79	0,76	0,84
10	0,84	0,83	0,89	0,81	0,8	0,87	0,80	0,77	0,85	0,82	0,79	0,86

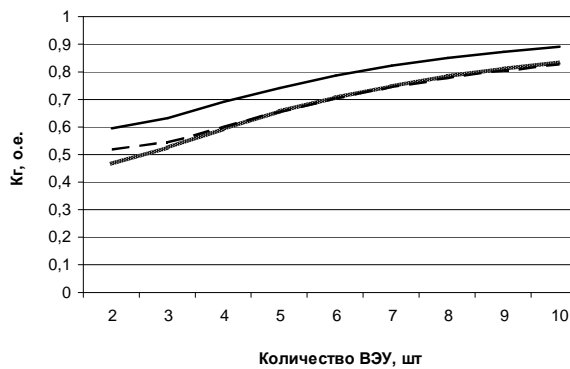


Рисунок 3 - Значения  $K_g$  для ВЭУ на территории пос. Диксон

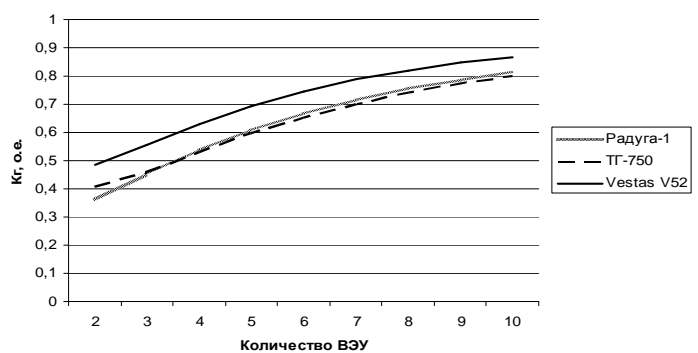


Рисунок 4 - Значения  $K_g$  для ВЭУ на территории пос. Хатанга

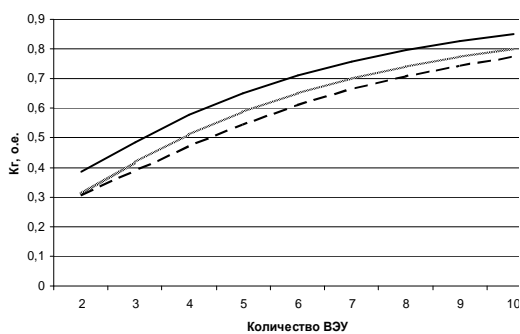


Рисунок 5- Значения  $K_g$  для ВЭУ на территории пос. Волочанка

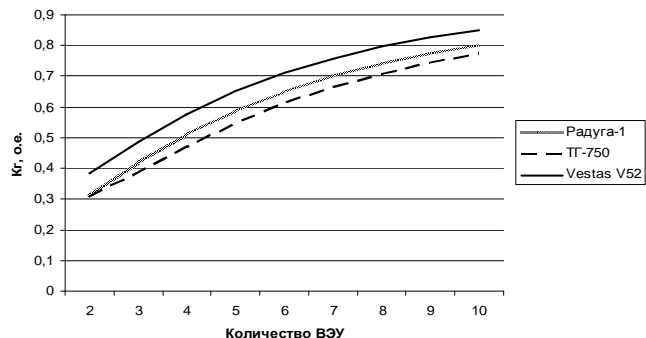


Рисунок 6- Значения  $K_g$  для ВЭУ на территории метеостанции о. Правды

Из графиков видно, что зависимость коэффициента готовности  $K_g$  от количества ВЭУ имеет нелинейный характер. При расчете надежности ветропарка с количеством ВЭУ более 10 целесообразнее воспользоваться методом агрегирования и рассмотреть ветропарк как систему параллельно работающих ветропарков, состоящих из 8-10 ВЭУ каждый.