

УДК 536.75: 621.90

Ван Бинь (асп., каф. САУ), А.Н.Кривцов, к.т.н., доц.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ВЭУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Под автономными ВЭУ понимают класс ветроустановок, не работающих на мощную энергосистему и не синхронизируемых последней. Обычно автономные ветроагрегаты предназначены для совместного с дизельными электростанциями электроснабжения ферм и поселков, не имеющих централизованного электроснабжения. Энергия ветровых потоков является неустойчивой, поэтому ее использование без промежуточного преобразования и применения накопителей оказывается невозможным.

Основными элементами электрооборудования являются генератор и системы регулирования величины и частоты выходного напряжения. В качестве генератора в автономных ВЭУ обычно используется синхронная или синхронизированная машина, а система стабилизации выходных параметров может строиться различным образом в зависимости от конструкции ветроагрегата, типа генератора и требований потребителей электроэнергии. Обычно для регулирования частоты выходного напряжения применяется балластная нагрузка.

Балластная нагрузка, в качестве которой целесообразно использовать электронагревательные элементы, включается параллельно основным полезным нагрузкам и служит для регулирования суммарной нагрузки генератора. Благодаря этому появляется возможность регулировать частоту вращения системы ветродвигатель-генератор.

Рассмотрим распределение мощности между ветроагрегатом, дизельной установкой, основной и балластной нагрузками. В качестве примера используем ветроагрегат ВЭУ-15 с номинальной мощностью  $P_n=15$  кВт. Из опыта эксплуатации подобных установок на Северо-западе России при среднегодовой скорости ветра  $v=5$  м/с известно, что средняя вырабатываемая и установленная мощности ВЭУ соотносятся как  $P_{cp} \approx (0,2 \div 0,25) P_{уст}$ . Следовательно, средняя потребляемая мощность нагрузки для рассмотренных условий эксплуатации ВЭУ не должна превышать  $P_{нагр} \leq (3 \div 4)$  кВт. Для потребителя типа сельскохозяйственной фермы характерно изменение потребления в течение суток и в зависимости от сезона года. Типовые характеристики потребления типовой фермы по данным Минэнерго приведены в табл.1.

Таблица 1

Время в сутки		ч	0-5	5-7	7-8	8-9	9-11	11-16	16-17	17-18	18-19	19-22	22-23	23-24
мощность нагрузки	Зима	кВт	1,91	2,1	3,2	2,61	3,14	2,32	3,1	2,69	3,17	3,13	3,96	2,86
	Весна-осень	кВт	1,56	1,75	2,76	2,29	2,56	2,11	2,53	2,08	2,66	2,60	3,08	2,07
	Лето	кВт	1,21	1,35	2,2	1,71	2,55	1,72	2,54	2,16	1,77	1,71	2,54	2,03

Данные о распределении скорости ветра по градациям в разные сезоны года для Севера-запада России приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость ветра		м/с	0-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-12	>12
	Зима	дней	28	12	9	9	8	7	5	5	7
количество дней	Весна-осень	дней	64	24	20	17	16	13	11	7	11
по сезонам	Лето	дней	49	14	12	7	6	3	1	1	0
	за год	дней	141	50	41	33	30	23	17	13	18

Для расчета вырабатываемой мощности ветроагрегата в различных сезонах используем аппроксимирующую зависимость между скоростью ветра и мощностью для ветроагрегатов с горизонтальной осью вращения:

$$P = k \cdot v^2 (v - v_0) \quad (1)$$

где:  $v_0$  – начальная скорость, при которой ветроагрегат начинает вырабатывать мощность. Учитывая что для ВЭУ-15  $v_0=4$  м/с и при  $v=9$  м/с вырабатываемая мощность составляет 16 кВт, можно рассчитать значение  $k=0,04$ . Это позволяет определить мощность ветроагрегата при любой скорости ветра. Причем при  $v>9$  м/с мощность ограничивается значением  $P_{\max}=16$  кВт. Тогда используя типовые графики суточного хода ветров, можно получить график выработки электроэнергии ветроагрегатом внутри суток и сравнивать с суточными графиками нагрузки.

При регулировании методом балластной нагрузки нужно в любой момент времени обеспечить  $P_{\text{выр}}(t) \geq P_{\text{потр}}(t) + P_{\text{бн}}(t)$ . Если условие не выполняется, то обычно подключается резервный ДГУ. Балластная нагрузка и нагрузка, налагаемая на дизель, определяются уравнениями баланса мощности:

$$P_{\text{бн}}(t) = P_{\text{выр}}(t) - P_{\text{потр}}(t) \quad (2)$$

$$P_{\text{дгу}}(t) = P_{\text{потр}}(t) - P_{\text{выр}}(t) \quad (3)$$

Для определения режимов работы балластной нагрузки и дизеля была составлена программа расчета в среде пакета MATLAB. Входными данными для программы являются механические характеристики ветроагрегата, вероятность скорости ветра по градациям, и суточные графики нагрузки по месяцам года. В состав программы входят подпрограмма расчет суточных графиков выработки электроэнергии ветроагрегатом и подпрограмма определения режима работы балластной нагрузки и дизеля.

Объясним алгоритм расчета.

На суточный график потребления в определенный сезон года накладывается суточный график выработки электроэнергии ветроагрегата. При избытке вырабатываемой ветроагрегатом мощности разность поглощается балластной нагрузкой. При дефиците мощности подключается дизель, определяется время его работы и средняя нагрузка внутри интервалов его работы. По известной зависимости удельного расхода топлива от загрузки дизеля определяется количество топлива для каждого интервала и суммарный расход топлива за сутки.

Для ветроагрегата ВЭУ-15 при среднегодовой скорости ветра  $v_{\text{ср}}=5,5$  м/с и указанных в табл.1 данных по потребителю получены следующие результаты:

Суммарная энергия, потребляемая за один год  $W_1=18670$  кВт.ч ;

Доля энергии, вырабатываемой ветроагрегатом  $W_{\text{в}}= 9550$  кВт.ч ;

Доля энергии, вырабатываемой дизелем  $W_{\text{д}}= 9120$  кВт.ч ;

Общий расход дизтоплива  $Q = 2330$  кг.

При том же графике нагрузки и отсутствии ветра потребление топлива дизелем составляет 4843 кг. Т.е. применение ветроагрегата обеспечивает экономию 2510 кг топлива либо 25000 руб. при нынешних ценах на топливо. Был выполнен по общепринятой методике расчет срока окупаемости ветроагрегата, и он составил  $L = 19$  лет.

Значения  $L$  для ряда величин средней скорости ветра при тех же относительных графиках выработки электроэнергии приведены в табл. 3.

Таблица 3

Среднегодовая скорость ветра м/с	Расход топлива кг	Экономия топлива кг	Срок окупаемости лет
5,5	2330	2510	19
6	1880	2963	16
7	1214	3629	13,5
8	853	3990	12

Для труднодоступных районов Севера России стоимость дизельного топлива достигает 3...4 долларов за кг. В этом случае даже при рассмотренных слабых ветрах (5 м/с) срок окупаемости ВЭУ составляет 2...3 года, т.е. применение ВЭУ экономически оправданно.