

Метод вычисления мощности ГАЭС для выравнивания графика ВЭС Гемалмазян Д. А.

Гемалмазян Дереник Агаронович / *Gemalmazyan Derenik Aharonovich* - аспирант;
ЗАО «Научно-исследовательский институт энергетики», г. Ереван, Республика Армения

Аннотация: в статье представлен метод вычисления мощности ГАЭС для выравнивания графика ВЭС. Представлен пример суточного графика электроэнергии выработки комплекса ВЭС-ГАЭС и стратегия выравнивания графика.

Ключевые слова: ветровая электростанция, гидроаккумулирующая электростанция, оптимальный запас, выравнивания графика.

Анализ результатов мониторинга ветров в Республики Армении [1] показал, что скорость ветров в Армении имеет крайне переменный характер. Следовательно, график выработки ветровой электростанции (ВЭС) тоже будет иметь переменный характер. Это обуславливает необходимость реализации мер, которые позволят максимально выравнивать график выработки ВЭС. Для исследования рассмотрена площадка на горном перевале Карахач, на которой планируется строительство ВЭС Карахач с номинальной мощностью 200 МВт, где, как показывают исследования, средняя скорость ветра на высоте 50м от земли составляет 8.2 м/с.

Для выравнивания графика выработки ВЭС рассмотрена возможность применения гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС). Необходимо определить оптимальную мощность ГАЭС при заданном профиле графика выработки ВЭС.

Максимально выравнивать график нагрузки ветровой электростанции можно будет при помощи гидроаккумуляционной электростанции. Необходимо будет определить номинальное мощность гидроаккумуляционной электростанции, которая и будет номинальным запасом и будет целесообразным для выравнивания графика.

Используя результаты мониторинга, можем определить электроэнергию, которая производилась в дневное время, в ночное время и электроэнергию, которая понадобится для выравнивания графика.

На рисунке 1 представлен пример суточного графика выработки электроэнергии комплекса ВЭС-ГАЭС.

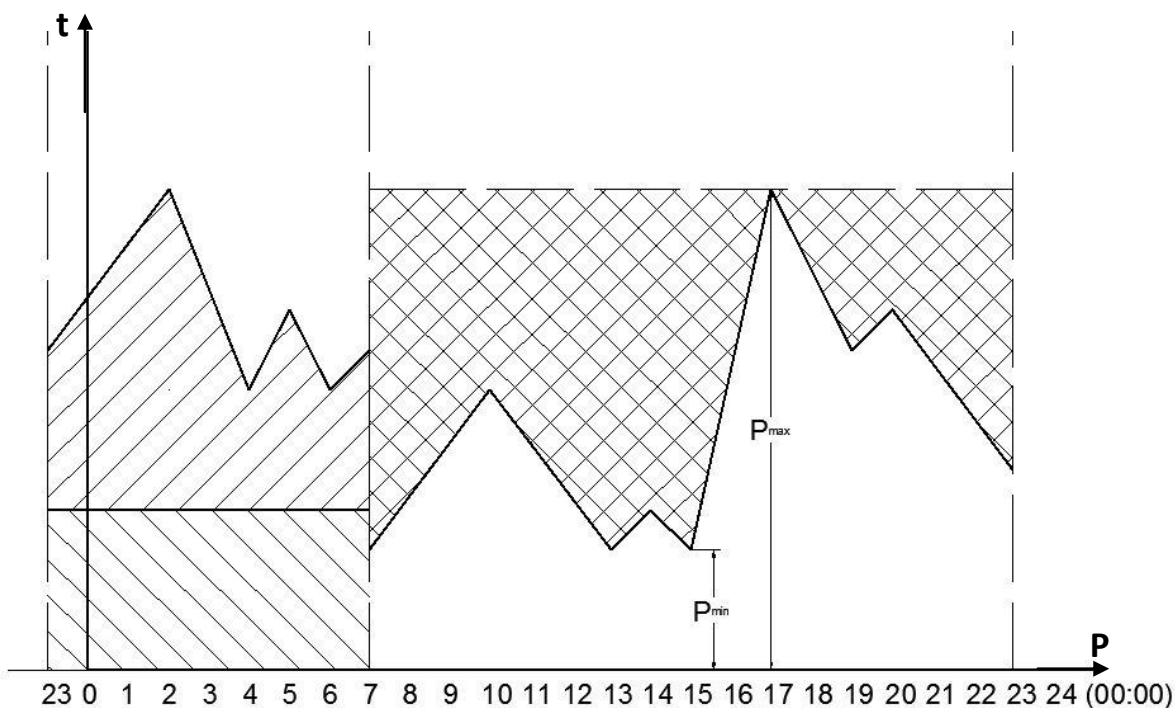
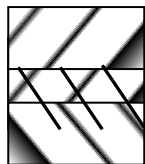


Рис. 1. Пример суточного графика электроэнергии выработки комплекса ВЭС-ГАЭС

Где



$W_{\text{ночь}}$ производимая электроэнергия ВЭС с 23:00 до 07:00,
 $W_{\text{ВЭС}}$ производимая электроэнергия ВЭС с 07:00 до 23:00,
 $W_{\text{выр}}$ электроэнергия для выравнивания графика с 07:00 до 23:00,
 $W_{\text{сеть}}$ потребление электроэнергии с сетей (23:00-07:00):

В ночное время ГАЭС работает в насосном режиме, используя электроэнергию ВЭС $W_{\text{ночь}}$ и при этом потребляет электроэнергию с сетей, чтобы пополнить верхний резервуар, а днем ГАЭС работает в генераторном режиме вырабатывая электроэнергию $W_{\text{выр}}$ и выравнивает график ВЭС.

Рассчитаем разницы максимальной $P_{\text{макс}}$ и минимальной $P_{\text{мин}}$ мощностей по дням за год. В табл. 1 представлен расчет $P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}$ за год по дням (МВт).

Таблица 1. Разницы максимальной $P_{\text{макс}}$ и минимальной $P_{\text{мин}}$ мощностей

	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
1	69	83	45	65	65	45	90	45	32	24	55	9
2	42	32	44	86	59	59	64	47	19	24	20	45
3	46	11	41	55	89	88	62	75	87	56	47	25
4	48	41	36	97	73	82	49	112	61	22	36	15
5	18	28	12	60	47	56	87	83	41	20	44	23
6	43	65	49	78	53	107	86	61	22	37	70	25
7	39	63	32	92	54	69	47	74	63	65	20	28
8	49	28	58	51	64	69	87	88	80	44	27	17
9	32	23	65	56	49	78	80	76	58	80	93	35
10	34	47	42	108	91	69	86	97	98	80	34	36
11	13	44	52	82	39	105	54	46	59	80	59	37
12	40	45	25	78	38	53	104	88	108	78	50	52
13	34	52	35	39	55	86	82	48	55	28	61	48
14	26	44	40	57	68	118	78	109	55	55	37	17
15	26	15	53	59	37	71	58	107	72	35	21	50
16	53	62	36	50	29	56	60	96	23	90	41	15
17	25	48	72	46	50	53	51	66	63	72	51	19
18	65	39	78	67	96	62	68	78	56	34	52	7
19	52	30	66	83	84	43	66	64	38	23	52	4
20	58	47	86	60	60	103	63	84	92	42	19	32
21	45	16	44	74	40	65	88	92	67	50	21	61
22	23	47	55	62	42	34	57	69	61	52	20	60
23	42	46	95	102	99	95	69	67	11	20	51	12
24	38	70	55	49	63	66	49	69	56	29	40	59
25	35	38	81	67	91	90	84	80	63	42	33	39
26	38	61	94	74	86	118	93	80	63	64	24	23
27	19	77	47	68	102	39	79	75	38	47	59	48
28	66	50	13	66	66	107	77	57	44	79	10	47
29	45		51	93	65	79	58	94	39	46	24	57
30	21		21	24	89	76	90	93	16	34	18	43

31	14		37		91		77	44		69		59
----	----	--	----	--	----	--	----	----	--	----	--	----

Соответствующие преобразования позволяют представить элементы выборки в виде вариационного ряда и определить его статистические характеристики. Для обеспечения корректности выбора числа и ширины интервалов вариационного ряда воспользуемся формулой Стерджеса [2].

$$m = 1 + 3.322 \ln(n) \quad (2)$$

$$k = (P_{\max} - P_{\min}) / m \quad (3)$$

где m - число интервалов, k - ширина интервалов, n – объем (общее число элементов) выборки; P_{\max} , P_{\min} соответственнп максимальное и минимальное значения элементов выборки.

Таким образом, получим,

$$m = 1 + 3.322 \ln(365) = 20.599 \text{ интервалов}$$

$$k = (P_{\max} - P_{\min}) / m = 56 \text{ МВт}$$

Примем $k = 56$ МВт, число интервалов $m = 22$, а также начало первого интервала

$$P_{\text{нач}} = P_{\min} - 0.5 * k = 1 \text{ МВт} \quad (4),$$

Тогда вариационный ряд примет вид, представленный в табл. 2.

Таблица 2. Статистические характеристики вариационного ряда

i	Интервал		Середина интервала P_i	Эмпирические частоты n_i	$u_i = P_i * n_i$	$v_{1i} = (P_i - P)^2 * n_i$	$v_{2i} = (\ln P_i - \ln P)^2 * n_i$
1	1	7	4	2	8	5618	14.117
2	7	13	10	6	60	13254	18.175
3	13	18	16	12	192	20172	19.369
4	18	24	21	15	315	19440	14.956
5	24	29	27	16	432	14400	8.933
6	29	35	32	17	544	10625	5.666
7	35	41	38	24	912	8664	3.946
8	41	46	44	30	1320	5070	2.01
9	46	52	49	35	1715	2240	0.8
10	52	57	55	33	1815	132	0.042
11	57	63	60	32	1920	288	0.084
12	63	69	66	29	1914	2349	0.623
13	69	74	72	26	1872	5850	1.419
14	74	80	77	23	1771	9200	2.08
15	80	85	83	18	1494	12168	2.542
16	85	91	88	16	1408	15376	3.018
17	91	97	94	15	1410	20535	3.754
18	97	102	100	6	600	11094	1.896
19	102	108	105	4	420	9216	1.493
20	108	113	111	4	444	11664	1.777
21	113	119	116	2	232	6962	1.01
22	119	125	122	0	0	0	0
				$n = \sum n_i$	$\bar{P} = \frac{\sum n_i}{n}$	$S_n = \sqrt{\frac{\sum v_{1i}}{n}}$	$S_{ln} = \sqrt{\frac{\sum v_{2i}}{n}}$
				365	57	23.66	0.543

Из приведенной таблицы видно, что среднее арифметическое элементов выборки равно $\bar{P} = 57$ МВт

Для проверки соответствия эмпирического распределения $F_n(P)$ логнормальному $F_{ln}(P)$ воспользуемся критерием Колмогорова [2, 3], критическое значение которого на уровне значимости $\alpha = 0.05$ в соответствии со справочными данными равно $\lambda_{0.05} = 1.36$. Ход и результаты такой проверки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Проверки эмпирического распределения

i	P_i	n_i	$w_i = n_i/n$	$F_n(P) = w_{i-1} + w_i$	$F_{ln}(P)$	$ F_n(P) - F_{ln}(P) $
1	4	2	0.005	0.005	0	0.005
2	10	6	0.016	0.022	0	0.022
3	16	12	0.033	0.055	0	0.055
4	21	15	0.041	0.096	0.154	0.058
5	27	16	0.044	0.140	0.201	0.061
6	32	17	0.047	0.186	0.25	0.064
7	38	24	0.066	0.252	0.318	0.066
8	44	30	0.082	0.334	0.402	0.068
9	49	35	0.096	0.430	0.5	0.07
10	55	33	0.090	0.521	0.592	0.071
11	60	32	0.088	0.608	0.673	0.065
12	66	29	0.079	0.688	0.75	0.062
13	72	26	0.071	0.759	0.819	0.06
14	77	23	0.063	0.822	0.877	0.055
15	83	18	0.049	0.871	0.922	0.051
16	88	16	0.044	0.915	0.963	0.048
17	94	15	0.041	0.956	1	0.044
18	100	6	0.016	0.973	1	0.027
19	105	4	0.011	0.984	1	0.016
20	111	4	0.011	0.995	1	0.005
21	116	2	0.005	1.000	1	0
22	122	0	0	1	1	0

$D = \max(F_n(P) - F_{ln}(P))$	0.071
$\lambda = D * \sqrt{n}$	1.35645

Из табл. 3 следует, что условие $\lambda < \lambda_{0.05}$ выполняется для случая $F_{ln}(P)$, то есть эмпирическое распределение согласуется с гипотезой о логнормальном законе распределения. При этом данный закон распределения описывается следующими числовыми характеристиками [4]:

- Медиана $Me(P) = a = \bar{P} = 57$ МВт
 - Математическое ожидание $M(P) = a * e^{s^2/2} = 66$ МВт
 - Мода $Mo(P) = a * e^{-s^2} = 62$ МВт (5)
 - Дисперсия $D(P) = \sigma^2 = a^2 e^{s^2} (e^{s^2} - 1) = 21116$ МВт²
- $\sigma = \sqrt{D(P)} = 46$ МВт

Оптимальная мощность ГАЭС в генераторном режиме получается равной

$$P_{ГАЭС} = M(P) / \eta_{ген} = 66 / 0.9 = 73 \text{ МВт} \quad (6)$$

Выводы:

1. Предложенный метод позволяет определить оптимальную мощность ГАЭС для выравнивания графика выработки ВЭС, которая и будет считаться безопасным резервом.

2. По данным измерения скоростей ветра за год, по расчетам разницы максимальной P_{\max} и минимальной P_{\min} мощности по дням определено, что эмпирическая распределения подчинено логнормальному закону.

Литература

1. *Marjanyan A. H.* Wind Power Development in Armenia, February 2008.
2. *Кремер Н. Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика, 2003. – 543 с.
3. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Том 2. Математические методы в теории надежности и эффективности, 1987. - 280 с
4. *Пугачев В. С.* Теория вероятностей и математическая статистика, 1979. – 495 с.