

ОЦЕНКА ВЕТРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.Г. Журавлёв

Томский государственный университет

В статье приведена предварительная оценка ветроэнергетического потенциала Томской области. Для этого было проведено исследование ветрового режима по данным 28 метеорологических станций области. Результаты оценки ветроэнергетического потенциала имеют практическое применение при проектировании и использовании систем энергоснабжения, использующих возобновляемые ресурсы.

В период бурного развития промышленности в прошлом столетии в проектах обеспечения человечества энергией в основном использовались источники на основе различных видов ископаемого топлива. Дикое использование полезных ископаемых в качестве топлива в конечном итоге поставило на повестку дня две проблемы – загрязнение окружающей среды до критических значений и угроза истощения запасов полезных ископаемых. Эти глобальные проблемы заставляют искать альтернативные источники энергии. В этом качестве могут рассматриваться атомная энергетика (но она встречает все больше возражений в связи с огромной опасностью и проблемой утилизации радиоактивных отходов) и так называемые чистые источники энергии, в число которых входят установки, использующие энергию ветра. Энергия ветра использовалась еще в глубокой древности, но низкая единичная плотность этой энергии, зависимость от погодных условий, несовершенство её преобразования в более удобные виды энергии, ограничивало широкое использование этого природного источника. В настоящее время появилось много различных установок для преобразования энергии ветра в другие виды энергии, в том числе и в наиболее удобную – электрическую. Эти установки называют аэрогенераторами или ветроэнергетическими установками (ВЭУ).

Энергия (E), содержащаяся в потоке движущегося воздуха, определяется следующим соотношением [1, 2]:

$$E = 4,81 \cdot 10^{-4} V^3 D^2 \xi \eta, \quad (1)$$

где V – скорость ветра; D – диаметр ветрового колеса ВЭУ; ξ – номинальный коэффициент использования ветра; η – к.п.д. преобразования механической энергии в электрическую.

Многочисленными исследованиями доказано, что практическая эффективность системы винт–генератор достигает примерно 30–40%.

Авторами [3] для расчета средней удельной мощности ветрового потока (ветроэнергетического потенциала на 1 м^2) N_c , использовалась формула, учитывающая среднюю скорость ветра V_c и её коэффициент вариации C_v :

$$N_c \approx 0,613 V_c^3 (1 + 3 C_v^2 - 0,9 C_v^3 + 2,9 C_v^4) \quad (2)$$

Эта формула определяет теоретическую (потенциальную) величину ветровой энергии и является верхним пределом запасов ветровых ресурсов, так как не учитывает потери преобразования.

Вырабатываемая ВЭУ мощность зависит от многих факторов [4]:

- 1) куба скорости ветра;
- 2) плотности и турбулентности воздуха;
- 3) квадрата диаметра ротора (площади вращения воздушного колеса);
- 4) эффективности винта и генератора;
- 5) стартовой и номинальной скорости ветра (при которых аэрогенератор начинает работать и развивает номинальную мощность);
- 6) номинальной мощности ВЭУ.

Первые два фактора зависят от выбора района установки ВЭУ, удельная выработка ветровой электроэнергии полностью зависит от силы ветра и продолжительности энергоактивных скоростей на данной территории. Остальные факторы являются функциями аэрогенераторов. Также следует иметь в виду, что получение энергии, достигается лишь при скорости ветра, находящейся в допустимом рабочем диапазоне для каждого ветроагрегата. Часто бывает, что скорость ветра бывает слишком низкой и ветроагрегат не может работать, либо достигает такого большого значения, что необходимо принимать меры к его отключению с целью предотвращения разрушения.

При современном уровне развития ветроэнергетических установок условия их экономически оправданной эксплуатации в зависимости от среднегодовой скорости (V_c) можно приблизительно оценить следующим образом [5]: при скорости $V_c < 3 \text{ м/с}$ – бесперспективные для любых ВЭУ; при скорости $3 \leq V_c < 3,5 \text{ м/с}$ – малоперспективные; при $3,5 \leq V_c < 4 \text{ м/с}$ – перспективные для ВЭУ малой мощности; при $4 \leq V_c < 5,5 \text{ м/с}$ – перспективные для малой и большой мощности и при $V_c \geq 5,5 \text{ м/с}$ – перспективные для всех ВЭУ.

В табл. 1, заимствованной из работы [6], представлен ряд нескольких ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой мощности (до 30 кВт) и их основные технические характеристики. Они могут использоваться в индивидуальной жилой застройке, в том числе фермерском хозяйстве.

Таблица 1

Технические характеристики ВЭУ (мощность до 30 кВт) [5]

N	Марка агрегата	Диаметр ветроколеса, м	Высота до оси ветроколеса, м	Масса ветроколеса, кг	Мощность, кВт	Диапазон рабочих скоростей, м/с	Номинальная скорость, м/с
1	ВЭТУ-1,5	1,8-2,52	4,25; 7,25; 10,25	150	—	5-40	—
2	АВЭУ-0,3-2,4	2,4	6	165	0,65-0,75	≥3	—
3	АВЭ-2-4,5	4,5	8,3	600	2,25	4-40	9,6
4	ВД-6	3,5	17,86	1500	3	≥3	9
5	ВЭУ-10-10	10	11,6	2800	18,5	ок. 21	8,5
6	АВЕС4.00.00.00.СБ	2	6	200	1 м. куб./час	≥3	—
7	ЭСО-0020	—	—	—	20	≥5	—

Для оценки ветроэнергетического потенциала, его возможного вклада в энергосбережение необходимо иметь характеристики распределения ветра по территории и во времени.

Для оценки ветрового режима и ветроэнергетического потенциала Томской области были использованы данные 28 гидрометеорологических станций за период с 1936 по 1987 гг. Основными климатическими характеристиками скорости ветра служат средняя скорость, стандартное. (среднеквадратическое) отклонение (σ), коэффициент вариации (C_v), повторяемость различных скоростей, максимальная скорость, распределение скоростей в течение суток и года.

Скорость ветра определяется в первую очередь структурой барического поля атмосферы (особенностями атмосферной циркуляции). Большое влияние на режим ветра оказывают также местные условия:

наличие водных объектов, особенности рельефа и подстилающей поверхности и т.п. Наименьшая скорость ветра наблюдается в малоградиентных барических полях.

В табл. 2 представлены основные статистические характеристики средней многолетней скорости ветра на станциях Томской области, данные скорости ветра получены на высоте установки ветроизмерительных приборов (10-14 м). Анализ данных показывает, что средняя многолетняя скорость ветра на станциях Томской области меняется в пределах от 1,6 (Ванжиль-Кынак) до 3,8 м/с (Молчаново). Среднее значение по области – 2,7 м/с.

Коэффициент вариации C_v , характеризующий временную изменчивость значений скорости относительно средней, не очень большой и меняется по территории сравнительно мало, от 0,18 до 0,37. Это свиде-

Таблица 2

Основные статистические характеристики среднегодовой скорости ветра на станциях Томской области

	Станция	V_c , м/с	C_v	σ	Станд. ошибка	A	E
1	Александровское	3,4	0,18	0,63	0,039	-0,27	-0,09
2	Ванжиль-Кынак	1,6	0,37	0,58	0,038	0,49	-0,14
3	Напас	2,5	0,23	0,57	0,035	-0,31	-0,15
4	Прохоркино	3,2	0,21	0,67	0,041	-0,11	-0,11
5	Березовка	2,0	0,26	0,52	0,032	0,05	-0,34
6	Среди. Васюган	2,7	0,21	0,57	0,035	0,08	-0,34
7	Катыльга	2,3	0,22	0,51	0,033	-0,11	-0,07
8	Каргасок	3,6	0,21	0,75	0,046	0,24	0,35
9	Усть-Озерное	2,2	0,28	0,62	0,038	0,15	0,31
10	Парабель	3,6	0,24	0,84	0,052	0,57	1,19
11	Новый Васюган	2,7	0,24	0,65	0,040	0,14	0,51
12	Степановка	2,6	0,31	0,80	0,051	0,62	0,52
13	Белый Яр	3,4	0,25	0,84	0,052	0,28	-0,05
14	Колпашево	3,0	0,22	0,66	0,041	0,45	0,83
15	Старица	2,5	0,25	0,62	0,038	-0,18	0,02
16	Майск	1,9	0,30	0,58	0,036	0,41	0,10
17	Батурино	2,5	0,28	0,71	0,044	0,28	-0,35
18	Молчаново	2,8	0,26	0,74	0,046	0,03	-0,60
19	Пудино	3,2	0,25	0,79	0,049	0,23	-0,09
20	Кенга	2,5	0,31	0,78	0,049	0,39	-0,23
21	Тегульдэт	3,1	0,23	0,72	0,044	0,28	-0,24
22	Парбиг	2,5	0,31	0,80	0,049	0,32	-0,14
23	Бакчар	2,9	0,25	0,74	0,046	0,39	0,29
24	Первомайское	2,8	0,27	0,76	0,047	0,27	-0,35
25	Брагино	2,2	0,33	0,72	0,045	0,30	-0,20
26	Зырянское	2,4	0,32	0,78	0,049	0,66	0,40
27	Томск	2,6	0,36	0,92	0,057	0,61	0,48
28	Кожевниково	3,4	0,28	0,96	0,060	0,33	-0,41

тельствует об относительно стабильном во времени и по территории режиме ветра.

Для характеристики кривой распределения часто используют понятия асимметрии и эксцесса. Мерой асимметрии распределения является коэффициент асимметрии (A). Принято считать, что при значении $|A| \leq 0,25$ асимметрия малая, при значениях коэффициента асимметрии в пределах $0,25 < |A| \leq 0,5$ – умеренная и при $|A| > 0,5$ – большая. Коэффициент асимметрии на станциях меняется от $-0,31$ до $0,66$ (среднее значение по области $A = 0,24$). На большинстве станций его величина положительная, что говорит о правосторонней асимметрии (удлиненной является правая ветвь). Лишь на пяти станциях (Александровское, Напас, Прохоркино, Кагылыга и Старица) наблюдается левосторонняя асимметрия.

В качестве характеристики островершинности распределения в статистике используется эксцесс (E). Коэффициент (E) равный нулю характерен для нормального распределения. Кривые более островершинные по сравнению с нормальной кривой обладают положительным эксцессом, менее острые – отрицательным эксцессом. Коэффициент (E) на станциях меняется от $-0,60$ до $1,19$ (среднее значение $E = 0,04$).

Стандартное отклонение s является показателем изменчивости или рассеивания значений средней скорости относительно средней многолетней скорости. Среднее годовое отклонение месячной скорости вет-

ра от средней многолетней составляет $0,51 \pm 0,96$ м/с. Стандартная ошибка расчетов не превышает $0,06$ м/с.

На рис. 1 представлена карта-схема распределения среднегодовой скорости ветра по территории Томской области. Жирной линией выделено среднее значение скорости ветра по области. На карте достаточно четко видна область более высоких скоростей ветра (обозначена штриховкой) которая расположена вдоль долины реки. Это обусловлено тем, что долина Оби шириной около 70 км практически лишена растительности и подстилающая поверхность, представленная редколесьем и луговой растительностью, имеет значительно меньшую шероховатость.

В годовом ходе минимум скорости ветра наблюдается в летний сезон, когда преобладают малоактивные процессы. На рис. 2 в графическом виде представлены среднемесячные характеристики скорости ветра для трех станций (Александровское, Колпашево, Томск). В течение года наиболее существенное изменение среднемесячной скорости ветра обнаруживается при переходе от весны к лету и от лета к осени. На станциях Александровское и Колпашево отмечаются два максимума и два минимума. Первый максимум наблюдается весной (в мае), второй максимум – осенью (октябрь – ноябрь). Минимумы отмечаются в летний сезон (июль – август) и зимний (декабрь, январь, февраль). Аналогичное распределение среднемесячной скорости ветра наблюдается и на других станциях Томской области.

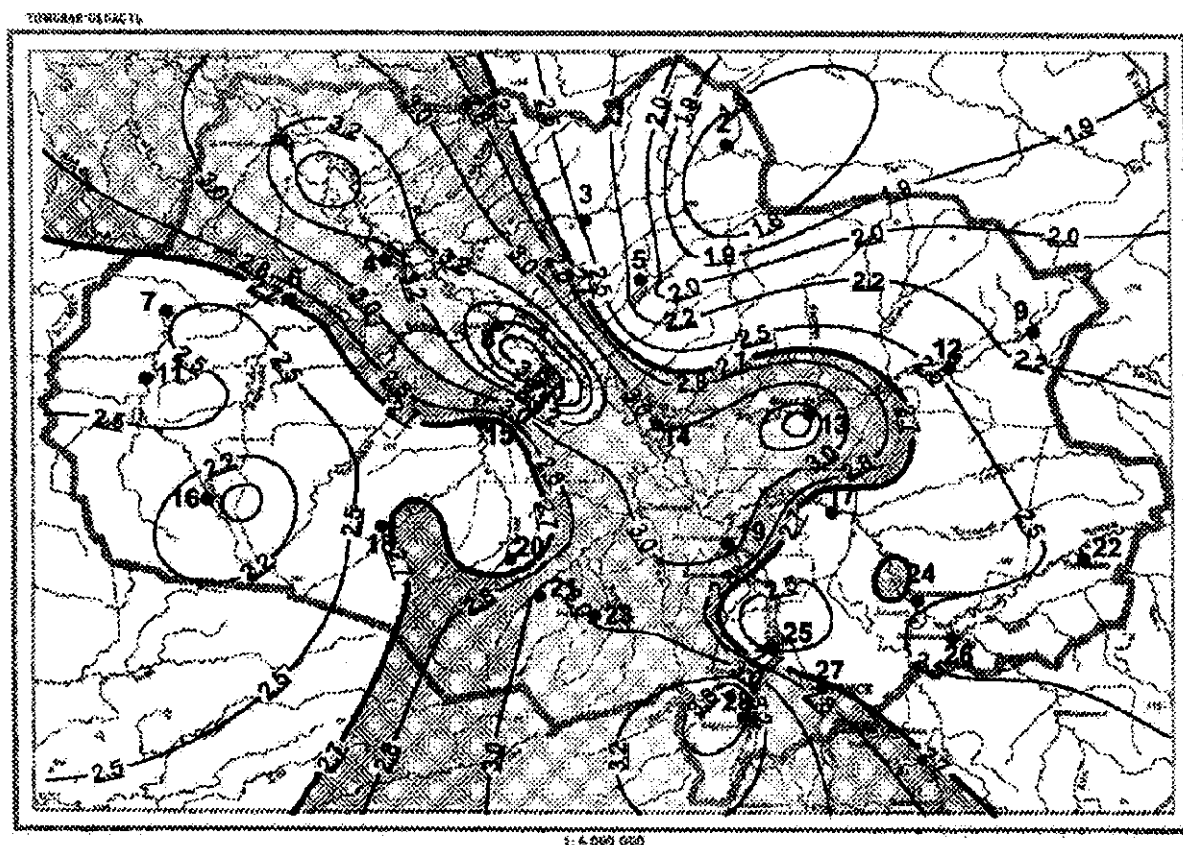


Рис. 1. Среднегодовая скорость ветра на территории Томской области

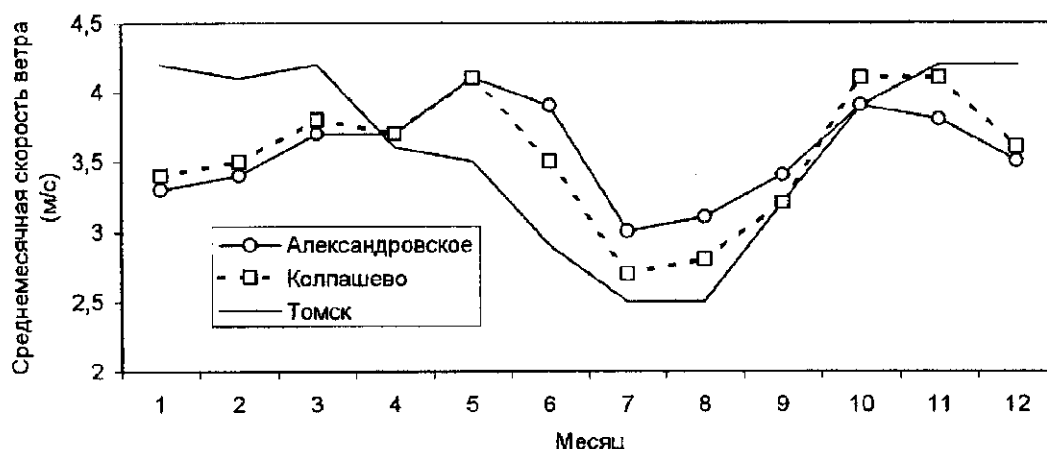


Рис. 2. Изменение среднемесячной скорости ветра по месяцам года

Исключение составляет Томск. В распределении среднемесячной скорости ветра в Томске отмечается один минимум (июль-август) и один максимум (с октября по март). В июле среднее значение среднемесячной скорости ветра на станциях Томской области составляет 2,4 м/сек. В октябре-ноябре – 3,6 м/сек, в мае – 3,7 м/сек и в январе – 3,1 м/сек.

Большой интерес представляет распределение суточного хода скорости ветра. В табл. 3 приведены значения среднемесячной и годовой скорости ветра в различные часы суток (по 8 срокам) для трех станций: Александровское, Колпашево и Томск. Первая цифра в колонке «срок» обозначает московское декрет-

ное зимнее время, вторая (в скобках) – декретное время данного пояса.

Для большей наглядности на рис. 3 приведены графики изменения средней скорости ветра в каждый срок по указанным выше станциям. Суточный ход скорости ветра определяется изменением интенсивности турбулентного обмена воздуха в течение суток. Обычно скорость ветра возрастает в середине дня и уменьшается в утренние часы. В суточном ходе скорости ветра на станциях Томской области максимум наблюдается в 13–16 ч по местному времени, минимум в ночное и утреннее время (01–07 ч).

Таблица 3
Среднемесячная и годовая скорость ветра (м/с) в различные сроки (время местное – в скобках) [7]

Срок	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Александровское												
18 (22)	3	3,1	3	3	3,3	3,1	2,3	2,3	2,7	3,3	3,6	3	3
21 (01)	3,1	3,1	3	2,8	3,3	2,9	2,3	2,3	2,6	3,3	3,6	3	2,9
24 (04)	3	2,9	2,8	2,8	3,1	3	2,2	2,2	2,5	3,2	3,6	3	2,9
03 (07)	3	2,9	2,9	2,9	3,4	3,3	2,4	2,5	2,8	3,3	3,7	3	3
06 (10)	3,1	3	3,1	3,6	3,9	3,7	2,8	3,1	3,3	3,4	3,5	3	3,3
09 (13)	3,3	3,3	3,7	4,2	4,5	4,2	3,6	3,7	4,1	4,1	3,9	3,2	3,8
12 (16)	3,1	3,4	3,7	4,3	4,7	4,4	3,6	4	4,2	4	3,7	2,9	3,8
15 (19)	3,1	3,1	3,4	4	4,3	4	3,5	3,4	3,5	3,5	3,7	3,1	3,6
Колпашево													
18 (22)	3	2,8	2,9	2,7	2,5	2,2	1,3	1,7	2,1	3,1	3,6	2,8	2,6
21 (01)	3	2,7	2,7	2,6	2,4	1,8	1,1	1,5	1,9	3	3,5	2,8	2,4
24 (04)	3	2,6	2,5	2,6	2,4	1,9	1,2	1,7	2	3,1	3,7	2,9	2,5
03 (07)	3	2,8	2,5	2,6	2,8	2,4	1,5	1,9	2,1	3,2	3,7	2,9	2,6
06 (10)	3,1	2,8	2,9	3,3	3,9	3,4	2,5	2,7	2,9	3,5	3,7	3	3,2
09 (13)	3,4	3,2	3,6	4,1	4,7	4,2	3,4	3,6	3,7	4	3,9	3,2	3,7
12 (16)	3,3	3,4	3,7	4,2	4,6	4,2	3,5	3,6	3,6	4	3,9	3,1	3,8
15 (19)	3,1	3	3,3	3,8	4,1	3,6	2,9	3	2,6	3,4	3,7	3	3,3
Томск													
18 (22)	3,5	3	2,7	2,6	2,5	2,1	1,6	1,9	2,1	2,7	3,1	2,9	2,6
21 (01)	3,5	3,1	2,5	2,6	2,2	1,8	1,3	1,6	1,7	2,6	3,2	2,9	2,4
24 (04)	3,4	3	2,5	2,4	2,1	1,9	1,4	1,7	1,8	2,8	3,2	2,9	2,4
03 (07)	3,6	3,1	2,7	2,3	2,3	2	1,6	1,7	1,8	2,8	3,3	3,2	2,5
06 (10)	3,4	3	2,6	2,8	3,1	2,6	2	2,2	2,2	2,9	3,3	2,9	2,8
09 (13)	3,6	3,1	3	3,5	4	3,5	2,9	3,1	3,2	3,4	3,4	3	3,3
12 (16)	3,6	3,2	3,2	3,7	3,9	3,4	2,7	3,2	3,1	3,3	3,3	3	3,3
15 (19)	3,7	3,1	3	3,3	3,5	3,2	2,6	2,7	2,3	2,8	3,1	3	3

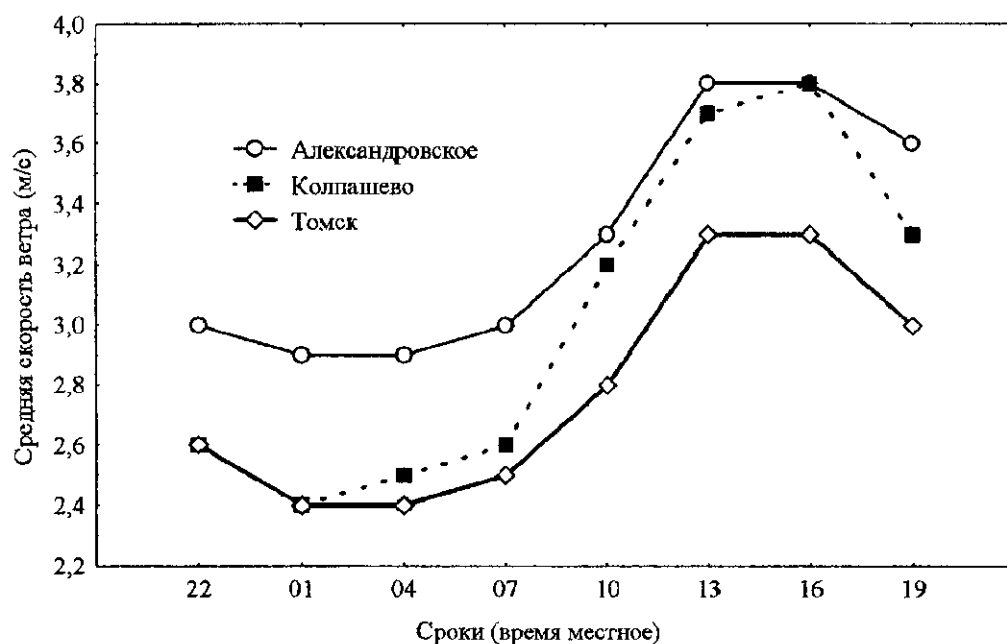


Рис. 3. Среднегодовая скорость ветра в различные часы суток

Таблица 4

Повторяемость скорости ветра по градам [7]

Града- ция, м/с	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Александровское												
0-1	28,7	28,3	26,5	23,1	16,4	20,5	30,7	28,3	23,6	19,5	19,2	28	24,4
2-3	33,6	33,1	32	31	31	31,8	36	26,6	36,3	33,2	32	34,5	33,4
4-5	22,8	23,9	25,4	27,3	31,4	29,8	22,4	23,6	26	30,1	28,3	23,6	26,3
6-7	10,4	10,4	11,4	12,7	14,2	12,3	7,8	8	9,6	12,1	14,2	10,4	11,1
8-9	3,6	3,7	4,3	5,4	6,2	4,9	2,8	3,3	4,2	4,6	5,8	3,1	4,3
10-11	0,6	0,3	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
12-13	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
14-15		0,1	0,1			0,2							0
16-17					0,1					0,1			0
Колпашево													
0-1	29,8	33,7	30,7	26	23,2	30,1	42,3	35,8	33,8	22,2	17,2	29,9	29,6
2-3	29,8	26,9	27,9	29,3	28,8	30	31,5	33,2	33,2	31,2	30,8	30,4	30,3
4-5	23,1	24,6	25,3	26,9	27,9	25,7	19,6	24	23,6	27,5	29,5	26	25,3
6-7	10,6	9,8	10,8	11,7	14,2	10,5	5,2	5,2	6,6	12,6	15,3	8,7	10,1
8-9	6,2	4,2	4,9	5,6	5,4	3,4	1,3	1,7	2,7	5,8	6,7	4,6	4,4
10-11	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,2			0,1	0,3	0,3	0,2	0,2
12-13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,3	0,1	0,1	0,1
14-15	0,1	0,1			0,1					0,1	0,1	0,1	0
16-17													
Томск													
0-1	32,2	37	37,5	34,2	31,3	39,1	48,3	43,9	44,9	38	35,4	39,5	38,4
2-3	29	30,9	34,2	35,4	35	33,1	33,7	33,8	32,7	32	29,6	30	32,5
4-5	18,4	15,3	17,1	18,4	22,7	19,3	14,5	17,4	15,9	16,9	17,6	15,2	17,4
6-7	10,1	10	6,9	7,6	7,6	6,1	3	3,2	4,8	7,2	9,1	7,6	7
8-9	6	4	3	2,9	2,4	1,9	0,5	0,7	1,2	3,6	5,4	4,9	3
10-11	1,6	1	0,3	0,6	0,3	0,2		0,1	0,2	0,9	1	1,4	0,6
12-13	1,2	1,2	0,5	0,4	0,5	0,2		0,1	0,3	0,7	0,8	0,8	0,6
14-15	1,1	0,6	0,4	0,4	0,2	0,1		0,1		0,5	0,8	0,5	0,4
16-17	0,4		0,1	0,1						0,2	0,2	0,1	0,1

Для целей ветроэнергетики особый интерес представляет распределение скоростей ветра по градам скорости. В табл. 4 приведена повторяемость скоростей ветра по градам для станций Александровское, Колпашево и Томск. Повторяемость штилей и слабых ветров (0–3 м/сек) в среднем за год по станции

Александровское, Колпашево и Томск составляет соответственно 57,8; 59,9 и 70,9%. Естественно, что работа ВЭУ таком ветре малоэффективна. Повторяемость более благоприятных условий для работы ветроэнергетических установок (скорость ветра более 3 м/сек) составляет соответственно 42,2; 40,1 и 29,1%.

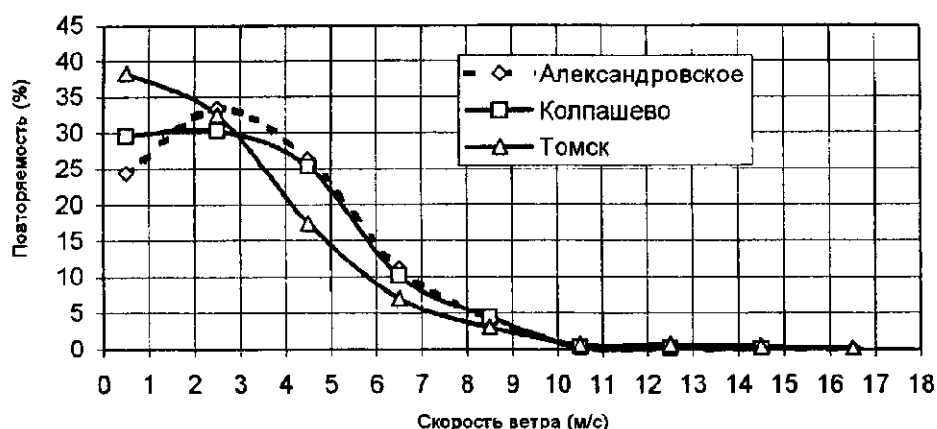


Рис. 4. Повторяемость (%) скорости ветра по градациям

Таблица 5

Основные статистические характеристики максимальной скорости ветра V_m на станциях Томской области

	Станция	Среднее V_m , м/с	Абсол. максимум	σ	Станд. ошибка	A	E
1	Александровское	17,1	36	4,14	0,269	0,38	1,76
2	Ванжиль-Кынак	10,4	20	2,71	0,187	0,65	0,44
3	Напас	14,5	33	3,74	0,245	0,36	2,51
4	Прохоркино	14,2	24	3,02	0,197	0,57	0,50
5	Березовка	13,9	23	3,27	0,214	-0,21	0,39
6	Средн. Васюган	15,3	24	3,58	0,234	-0,09	-0,09
7	Катыльга	14,8	30	3,90	0,269	0,55	1,86
8	Каргасок	18,5	36	4,34	0,282	0,17	0,98
9	Усть-Озерное	11,8	20	3,11	0,204	0,61	0,41
10	Парабель	17,3	34	4,22	0,275	0,94	1,74
11	Новый Васюган	15,0	40	4,48	0,292	1,14	3,99
12	Степановка	13,3	29	3,73	0,253	0,97	1,68
13	Белый Яр	17,5	30	4,27	0,279	0,63	0,53
14	Колпашево	14,7	28	3,31	0,216	0,39	0,99
15	Старяца	12,6	24	3,49	0,227	0,35	0,00
16	Майск	11,9	24	3,33	0,218	0,59	0,14
17	Батурино	13,9	29	3,89	0,253	0,70	0,52
18	Молчаново	16,5	30	4,59	0,300	0,39	0,07
19	Пудино	15,7	30	4,22	0,274	0,38	0,14
20	Кенга	15,0	29	3,92	0,256	0,63	1,49
21	Тегульдэт	16,4	28	3,83	0,250	0,49	0,45
22	Парбиг	14,9	26	3,78	0,247	0,20	0,01
23	Бакчар	15,8	35	4,42	0,289	0,73	1,80
24	Первомайское	16,2	30	3,96	0,258	0,38	0,66
25	Брагино	14,4	34	4,78	0,316	0,65	1,01
26	Зырянское	15,8	37	4,66	0,304	1,06	3,25
27	Томск	15,1	22	4,03	0,265	-0,22	-1,20
28	Кожевниково	16,0	28	4,01	0,266	-0,10	0,01

На рис. 4 показано изменение повторяемости среднемесячной скорости ветра по градациям скорости для станций Александровское, Колпашево и Томск.

Для практических целей большой интерес представляют и максимальные скорости ветра, так как при больших скоростях ветра ветроагрегаты необходимо отключать. В табл. 5 представлены статистические характеристики максимальных скоростей ветра, наблюдаемых на станциях Томской области.

Средний максимум на станциях меняется в пределах от 10,4 до 18,5 м/с. Абсолютный максимум, наблюдавшийся на станциях области в разные годы, колеблется от 20 до 40 м/с.

Для расчёта удельного ($\text{Вт}/\text{м}^2$) ветроэнергетического потенциала (максимально возможного) Томской области была использована формула (2). В реальных условиях при использовании ВЭУ часть энергии по известным причинам будет потеряна. В табл. 6 представле-

Таблица 6
Ветроэнергетический потенциал N_e по станциям Томской области

	Станция	N_e , Вт/м ²
1	Александровское	27,2
2	Ванжиль-Кынак	3,3
3	Напас	11,1
4	Прохоркино	22,6
5	Березовка	6,0
6	Средн. Васюган	13,2
7	Катыльга	8,6
8	Каргасок	32,0
9	Усть-Озерное	8,0
10	Парабель	32,3
11	Новый Васюган	14,7
12	Степановка	13,3
13	Белый Яр	28,6
14	Колпашево	19,2
15	Старца	11,4
16	Майск	5,6
17	Батурино	12,4
18	Молчаново	16,8
19	Пудино	23,6
20	Кенга	12,2
21	Тегульдэт	21,8
22	Парбиг	12,9
23	Бакчар	17,6
24	Первомайское	17,2
25	Брагино	8,6
26	Зырянское	11,6
27	Томск	14,4
28	Кожевниково	30,6

ны расчётные значения ветроэнергетического потенциала N_e по станциям Томской области для высоты расположения флюгера. Ветроэнергетический потенциал по станциям области меняется от 3,3 (Ванжиль-Кынак) до 32,3 Вт/м² (Парабель). Для более эффективного использования ветровой энергии, согласно исследованиям различных авторов, ветровое колесо ВЭУ необходимо располагать на больших высотах: 30–100 м и выше, так как скорость ветра с высотой увеличивается по логарифмическому закону [8]. Авторами [1, 3] показано, что скорости ветра на высоте 30 м выше в 1,7 раза (в среднем), на высоте 100 м – в 2,4 раза. При этом среднегодовые скорости воздушных потоков на стометровой высоте превышают 7 м/сек. Если для установки ВЭУ выйти на высоту 100 м, используя подходящую естественную или искусственную возвышенность, практически на всей территории Томской области можно эффективно использовать ветроагрегаты. Для более точной оценки ветроэнергетического потенциала при ус-

ловии расположения ВЭУ на высоте 100 м необходимо использовать аэрологические наблюдения.

Следует отметить, что дополнительные возможности может принести использование ВЭУ, работающих при малых скоростях ветра. В последние годы появился ряд новых конструкций ВЭУ. Так специалисты Института криосферы Земли Сибирского отделения РАН предложили заменить воздушные винты на шнеки – спиральные винты Архимеда. Самое главное преимущество – большая площадь лопастей по сравнению с традиционными винтами, а значит, и более высокая производительность. Спиральные лопасти благодаря своей геометрии сохраняют форму и при малой толщине, даже если изготовлены из тонкого стального или алюминиевого листа или пластмассы, а для тонкостенной ступицы, на которой они укреплены, служат своеобразными ребрами жесткости.

Роторный агрегат получается легким и прочным, работает при небольших скоростях ветра. Ему не нужны механизмы для ориентации по воздушному потоку и для регулировки скорости вращения.

Новый ветряк значительно проще и надежнее традиционных ветроустановок. По стоимости же он в три раза дешевле. Шнеки в отличие от винта более экологичны, не создают аэродинамического шума, почти не генерируют теле- и радиопомех, менее опасны для птиц.

Рассмотрев основные характеристики ветра на высоте расположения ветроизмерительных приборов (10–14 м) по станциям Томской области, можно сделать следующие предварительные выводы:

- в целом территория Томской области относится к малоперспективным районам для непрерывного использования ветровой энергии в течение всего года. Ветровая энергия может служить лишь дополнительным источником энергии с целью энергосбережения;
- повторяемость средних скоростей ветра, необходимых для эффективной работы существующих ВЭУ малой и большой мощности не превышает 43%;
- зона наибольшей плотности ветровой энергии практически совпадает с районами максимума средней скорости ветра (в долине реки Оби).
- для более эффективного использования ветровой энергии необходимо устанавливать ВЭУ на высоте 30–100 м, а также использовать современные шнековые ветряки.

Литература

1. Тажиев И.Т. Энергия ветра – база электрификации сельского хозяйства. Л.: Гос. энерг. изд-во, 1952. 192 с.
2. Исаев А.А. Прикладная климатология. М.: Изд-во МГУ, 1989. 88 с.
3. Дробышев А.Д., Пермяков Ю.А. Ветровая энергия и её возможный вклад в ресурсосбережение и экологию Прикамья. Учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. 112 с.
4. Маркус Т.А., Моррис Э.Н. Здания, климат и энергия. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 544 с.
5. Де Ренко Л. Ветроэнергетика. М.: Энергоатомиздат, 1982. 271 с.
6. Кудря С., Коваленко В., Коканевич В., Шихайлов М. Универсальная ветроэнергетическая установка для сельского хозяйства // Материалы 2-й междунар. конф. по управл. использованием энергии (Львов, 3–6 июня 1997 г.), С. 149–150.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. Ч. 1–6. Вып. 20. 717 с.
8. Зилитинский С.С., Чаликов Д.В. Определение универсальных профилей скорости ветра и температуры // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. 4. № 3. С. 294–302.