

УДК 621.548

**А.Г. ЛУКАШЕВИЧ, Э.А. МИХАЛЫЧЕВА, А.Г. ТРИФОНОВ**

«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»  
НАН Беларуси, г. Минск

### **КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОТУРБИНЫ**

This paper presents application of wind climate numerical modeling for the assessment wind energy resource and evaluation of the potential wind power output from wind turbine stallations of various capacity taking into account of district relief and meteorological data

Дефицит собственных ископаемых топливных ресурсов в Беларуси и особенно экономических взаимоотношений с поставщиками топлива и энергии из других стран требуют изменения подходов к обеспечению республики топливно-энергетическими ресурсами. Использование ветроэнергетических установок (ВЭУ) в составе ветроэнергетических станций (ВЭС) поможет решить экологические и экономические проблемы энергетике, связанные с использованием угля, нефти, газа или других дорогостоящих энергоносителей. Поскольку средняя скорость ветра на территории Республики Беларусь относительно невысокая, около 4,3 м/с, то актуальным становится тщательный выбор места расположения и мощности турбин ветроэнергетических установок. Тщательный учет не только метеорологических условий местности, но и условий рельефа, застройки, шероховатости поверхности, а также определение возможной выработки энергии ВЭУ в зависимости от ее мощности, позволяет выбрать площадки для расположения ВЭУ и ВЭС, где скорость ветра значительно превышает фоновую, следовательно можно получить лучшие технико-экономические показатели ветроустановок.

В работе представлено применение компьютерной методики выбора перспективных площадок для расположения ветроэнергетических установок, которая учитывает влияние сложного рельефа местности, искусственных препятствий и шероховатости поверхности земли на формирование ветрового климата в исследуемом регионе.

Мощность ВЭУ увеличивается по мере увеличения скорости ветра до максимального значения – номинальной мощности, после чего она поддерживается по возможности постоянной. Для ВЭУ с заданной кривой мощности  $P(u)$  средняя вырабатываемая мощность в данном месте определяется с использованием функции распределения скорости ветра  $f(u)$  на высоте башни ВЭУ по формуле:

$$P = \int_0^{\infty} P(u) f(u) du$$

Функция  $f(u)$  определяется либо экспериментально, либо на основе метеоданных близлежащих станций.

Если функция распределения скорости ветра  $f(u)$  аппроксимируется функцией Вейбулла, то выражение для средней мощности ВЭУ имеет вид:

$$P = \int_0^{\infty} \left( \frac{k}{A} \right) \left( \frac{u}{A} \right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right) P(u) du,$$

где  $A$  и  $k$  – коэффициенты Вейбулла.

Функция распределения ветра по скоростям, аппроксимируемая аналитической двухпараметрической функцией Вейбулла, требуется при решении большинства практических задач ветроэнергетики. С ее помощью определяется удельная мощность ветрового потока:

$$E(u) = \rho u^3 \cdot f(u) / 2, \quad (3)$$

где  $f(u)$  – распределение Вейбулла, определенное для данного места,  $\rho$  – плотность воздуха.

В работе с использованием программного комплекса WASP определены ветровой потенциал площадки и возможное ежегодное производство энергии ветроэнергетическими установками в зависимости от выбранной мощности ветротурбин для площадки, находящейся вблизи д. Криштофово Дзержинского района Минской области. Топографическая карта участка расположения измерительной мачты и ВЭУ представлена на рисунке 1.

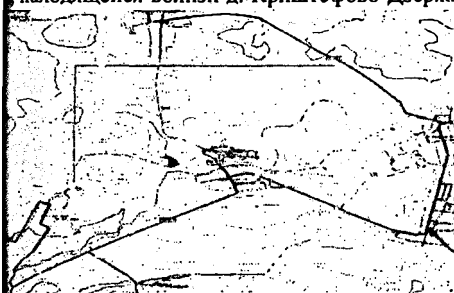
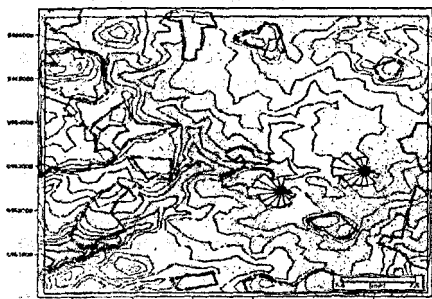


Рисунок 1 — Топографическая карта района вблизи д. Криштофово

Результаты расчета регионального ветроклимата представлены в таблице 1. Характеристики регионального ветроклимата были рассчитаны для четырех значений длины шероховатости (0,000 м, 0,030 м; 0,100 м; 0,400 м) и 3 высот (50 м, 100 м, 200 м) над уровнем поверхности. Расчеты суммарной годовой выработки энергии были проведены для установок с координатами размещения (56091,5995941), высота площадки 299,0 метра над уровнем моря. Расположение измерительной мачты и ветроустановки на оцифрованной карте рельефа местности, статистическое распределение удельной мощности ветрового потока по секторам для измерительной мачты и ветроустановки представлено на рисунке 2.

Таблица 1 — Общие характеристики регионального ветроклимата

Высота, м	Параметр	Длина шероховатости, м			
		0,00	0,03	0,1	0,4
0,0	Коэффициент Вейбулла А	8,0	6,6	6,0	5,3
	Коэффициент Вейбулла k	2,38	2,30	2,25	2,24
	Средняя скорость U, [м/с]	7,11	5,87	5,35	4,65
	Удельная мощность E, [Вт/м <sup>2</sup> ]	361	208	160	106
100,0	Коэффициент Вейбулла А	8,7	7,9	7,2	6,3
	Коэффициент Вейбулла k	2,31	2,45	2,46	2,54
	Средняя скорость [м/с]	7,71	6,97	6,38	5,62
	Удельная мощность [Вт/м <sup>2</sup> ]	471	332	253	169
200,0	Коэффициент Вейбулла А	9,6	9,8	8,9	7,7
	Коэффициент Вейбулла k	2,19	2,34	2,36	2,45
	Средняя скорость U, [м/с]	8,52	8,66	7,87	6,86
	Удельная мощность E, [Вт/м <sup>2</sup> ]	665	660	491	317



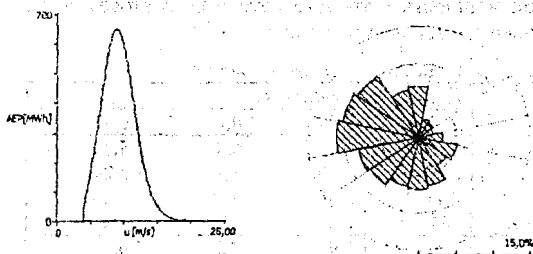
**Рисунок 2 — Расположение измерительной мачты и ветроустановки на оцифрованной карте рельефа местности, частотное распределение удельной мощности ветрового потока по секторам для измерительной мачты ветроустановки**

Средняя мощность и ежегодное производство энергии были оценены для четырех ветроустановок мощностью 1; 1,5; 2 и 2,5 МВт с высотами центров ветроколес 60 и 100 м. Результаты вычисления суммарной годовой выработки энергии ВЭУ для отдельных турбин представлены в таблице 2.

**Таблица 2 — Результаты вычисления суммарной годовой выработки энергии ВЭУ турбин различной мощности**

Тип турбины	Высота ветроколеса, [м]	Суммарная годовая выработка энергии, [ГВт·ч]
Вонус 1 МВт	60	1,513
Вонус 1,5 МВт	80	2,315
Вонус 2 МВт	100	4,620
2,5 МВт	100	4,620

Гистограмма частотного распределения скорости ветра по секторам и возможная годовая выработка энергии ВЭУ (турбина Вонус 1 МВт) в зависимости от частотного распределения скорости ветра представлены на рисунке 3. Годовая выработка энергии, вычисленная с помощью параметров Вейбулла, составляет соответственно для четырех типов турбин: 1,513; 2,315; 4,620; и 4,620 ГВт·ч.



**Рисунок 3 — Гистограмма частотного распределения скорости ветра по секторам для площадки Криштофово возможная годовая выработка энергии ВЭУ 1 МВт**

Выработка энергии ВЭУ зависит от конструктивных особенностей ВЭУ (площадь ветроколеса) и средней скорости ветра, а значит, и удельной мощности ветрового потока. Скорость ветра растет пропорционально увеличению высоты расположения ветроколеса турбины ВЭУ, поэтому с увеличением последней можно достичь большей годовой выработки энергии (таблицы 1, 2). Однако увеличение мощности используемой ветротурбины более 2 МВт при скоростях ветра менее 10 м/с не дает заметного увеличения выработки энергии вследствие конструктивных особенностей ВЭУ и

ительного времени остановов из-за большой начальной пусковой скорости ВЭУ. Оптимальная мощность ветроустановок для условий нашей республики – от 1 до 2 МВт. Стоимость ветроустановок, особенно большой мощности достаточно высока, поэтому предварительная оценка ветрового климата в предполагаемом районе размещения ВЭУ, определение ветропотенциала с учетом влияния сложного рельефа местности, искусственных препятствий и шероховатости поверхности земли и соответствующих характеристик ветротурбины ВЭУ позволяет повысить эффективность строительства и использования ветроэнергетических установок.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ветер и атмосферное давление: справочник по климату Республики Беларусь / Республиканский гидрометеорологический центр. – Минск: Минприроды РБ, 2000. – 425 с.
- Правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок: ТКП 17.02-02-010 (02120). – Введ. 01.05.2010. – Минск: Минприроды РБ, 2010. – 19 с.
- Trifonov, A. Use of geoinformation technologies for a choice of wind-driven powerplant sites taking into account of relief and incomplete meteorological data/ A.Trifonov, R. Heling, A.Lukashевич, E. Mikhalycheva, A.Andrijievskij// Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – Minsk, 2009. – №1. – P. 81–86.

УДК 62-784.43

**В.М. НОВИКОВ, С.Г. НАГУРНЫЙ**

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест

#### **СТРУЙНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОЧИСТКИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ВОЗДУХА НА ОБЪЕКТАХ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ**

Considered inkjet system for localization and purification of significant quantities of air.

В результате проведенных экспериментальных исследований доказано, что с помощью струйных комплексов, образованных водосливами с круглым ребром, установленных ступенчато, можно значительно повысить устойчивость работы объектов гражданской обороны и длительность пребывания на них людей при том же технологическом оснащении систем очистки воздуха (не считая струйного комплекса).

В частности, можно повысить продолжительность работы фильтров-поглотителей без ухудшения качества очистки воздуха) в 3–4 раза.

Струйный комплекс, оснащён струйным аппаратом с водосливами с круглым ребром, установленным ступенчато, что позволяет навести куполообразную жидкостную завесу значительных размеров. Куполообразная жидкостная завеса выполняет роль гидрофильтра, он значительно уменьшает содержание продуктов радиоактивного распада и газа, содержащего в воздухе, подаваемого на объект гражданской обороны.

На рисунке представлена схема струйного комплекса для локализации и очистки значительных объёмов воздуха на объектах гражданской обороны.

Комплекс размещается на удалении 40...50 м от убежища и устраивается в специальном котловане или защищается земляным валом I.