

Расчет метрик ветрогенераторов

Дмитрий Селедков

гр. М05-013

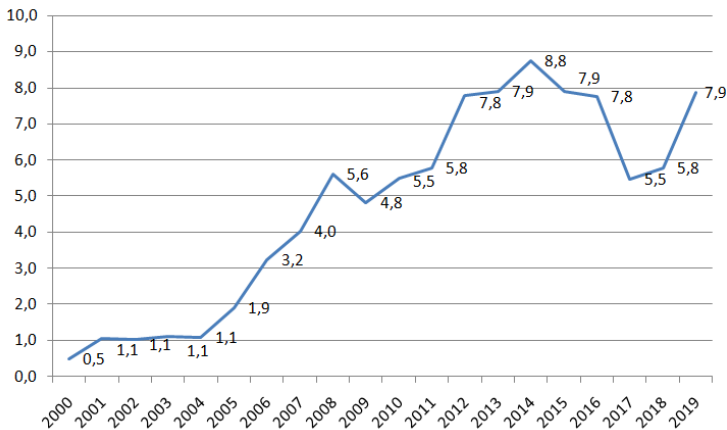
Московский физико-технический институт

21 декабря 2020 г.

Динамика международной торговли

Динамика экспорта ветрогенераторов по данным ООН (БД Comtrade)

Объем экспорта ветрогенераторов, млрд. \$



Ключевые производители

Объемы экспорта по данным ООН за 2019 г. (БД Comtrade)

Страна производства	Объем экспорта, млн. \$	Доля
Denmark	3 025	38,4%
Germany	2 280	28,9%
China	949	12,0%
Netherlands	704	8,9%
Spain	617	7,8%
USA	133	1,7%
India	42	0,5%
Portugal	24	0,3%
Brazil	23	0,3%
Greece	15	0,2%
Other	72	0,9%
Общий итог	7 883	100,0%

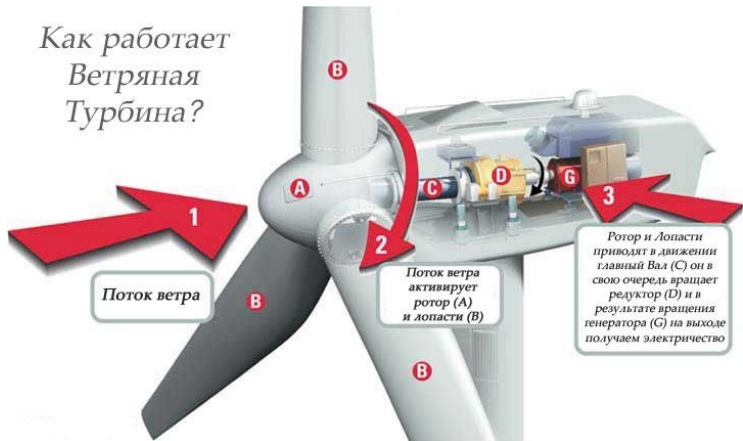
Ключевые потребители

Объемы импорта по данным ООН за 2019 г. (БД Comtrade)

Страна производства	Объем импорта млн. \$	Доля
Norway	799,6	12,7%
Netherlands	480,4	7,6%
Mexico	432,0	6,9%
United Kingdom	401,3	6,4%
Australia	398,6	6,3%
South Africa	316,7	5,0%
Denmark	307,1	4,9%
Greece	306,6	4,9%
Belgium	280,5	4,5%
Turkey	262,7	4,2%
Other	2 312,0	36,7%
Общий итог	6 297,6	100,0%

Принцип работы

Как работает
Ветряная
Турбина?



Расчет мощности ветрогенератора

Расчет мощности ветрового потока

От скорости ветра зависит его энергия или мощность ветрового потока – показателя, который является важнейшим для расчета и выбора ветрогенераторов. Связь этих характеристик прямо пропорциональная и выражается формулой:

$$N_{\Pi} = \frac{\rho * S * V^3}{2}$$

где:

- N_{Π} – мощность потока воздуха (Вт);
- V – скорость ветра (м/сек);
- ρ – плотность воздуха (кг/м³) (стандартное ее значение при температуре +15°C и давлении 760 мм ртутного столба 1,225 кг/м³);
- S – площадь «ометания» ротора ($S = \frac{\pi * d^2}{2}$)

Расчет мощности ветрогенератора

Расчет мощности ветрогенератора

Мощность ветрогенератора на валу ветротурбины можно рассчитать, используя формулу:

$$N = \frac{V^3 * d^2 * \gamma}{2080}$$

где:

- N – мощность без учета потерь в подшипниках, передачах (кВт);
- V – скорость ветра (м/сек);
- d – диаметр ветроколеса (м);
- γ – коэффициент использования энергии ветра (показывает какую часть мощности воздушного потока может превращать в механическую энергию конкретный ветрогенератор).

Расчет мощности ветрогенератора

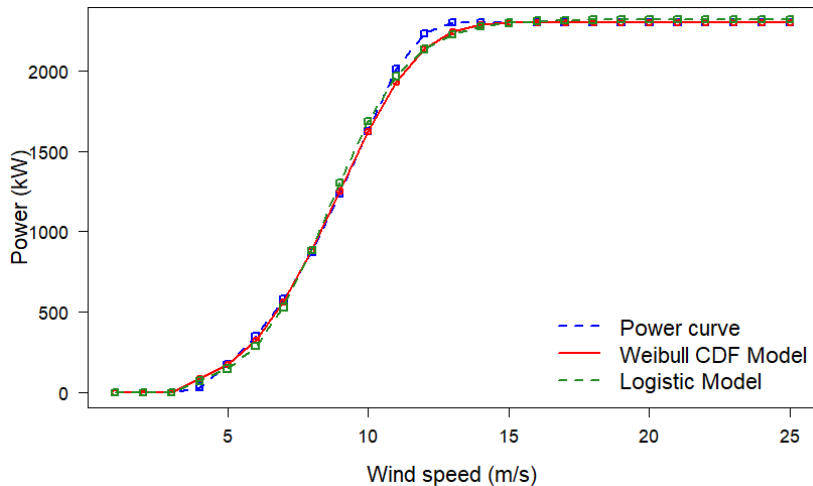
Мощность популярных ветрогенераторов

Анализ проведен с использованием библиотеки WindCurves.

Speed	Vestad V80	Vestad V164	Siemens 82	Siemens 107	Repower 82	Nordex N90
4	2	101	42	80	64	35
5	97	461	136	238	159	175
6	255	902	276	474	314	352
7	459	1595	470	802	511	580
8	726	2513	727	1234	767	870
9	1004	3737	1043	1773	1096	1237
10	1330	4988	1394	2379	1439	1623
11	1627	5987	1738	2948	1700	2012
12	1772	6698	2015	3334	1912	2230
13	1797	6984	2183	3515	2000	2300
14	1802	6985	2260	3577	2040	2300
15	1802	6995	2288	3594	2050	2300
16	1802	6995	2297	3599	2050	2300
17	1802	6995	2299	3600	2050	2300

Расчет мощности ветрогенератора

Зависимость мощности от скорости ветра (на примере Nordex N90)



Источники информации о ветре

National Centers for Environmental Prediction



Ключевой источник - National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Обработка данных о ветре

Получение данных (на примере острова Котлин)

Получение данных о ветре по заданным координатам и периоду реализовано на языке программирования R с помощью библиотеки rWind (которая обращается к NCEP через API).

```
9 library(rwind)
10 # Загрузка данных о ветре
11 dt <- seq(ymd_hms(paste(2020,10,1,00,00,00, sep="-")),
12          ymd_hms(paste(2020,12,21,21,00,00, sep="-")),by="3 hours")
13 ww <- wind.dl_2(dt,60.0,60.2,29.4,29.7)
14 wind.data <- tidy(ww)
15 head(wind.data)
16
17 (Top Level) :
```

Console Terminal x Jobs x

~/ ➡

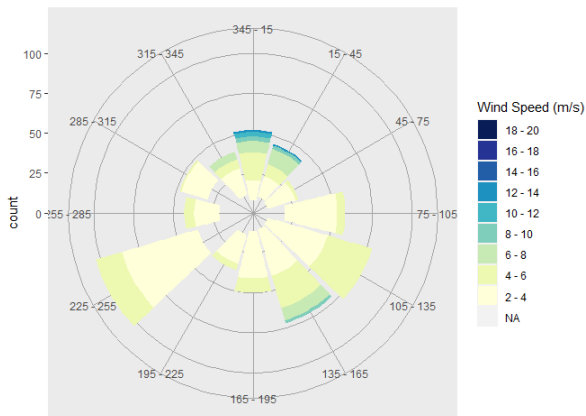
```
0 2020-10-01 15:00:00 29.5 60 0.2112329 -0.09151611 113.42455 0.2302054
> head(wind.data)
```

	time	lat	lon	ugrd10m	vgrd10m	dir	speed
1	2020-10-01 00:00:00	29.5	60	-1.0597217	0.95849120	312.12854	1.4288861
2	2020-10-01 03:00:00	29.5	60	-0.3931494	0.71622800	331.23689	0.8170367
3	2020-10-01 06:00:00	29.5	60	2.6781030	1.06463130	68.32060	2.8819569
4	2020-10-01 09:00:00	29.5	60	4.1315870	-0.43917970	96.06765	4.1548634
5	2020-10-01 12:00:00	29.5	60	3.2593968	-0.08610107	91.51319	3.2605338
6	2020-10-01 15:00:00	29.5	60	0.2112329	-0.09151611	113.42455	0.2302054

Обработка данных о ветре

Построение розы ветров (на примере острова Котлин)

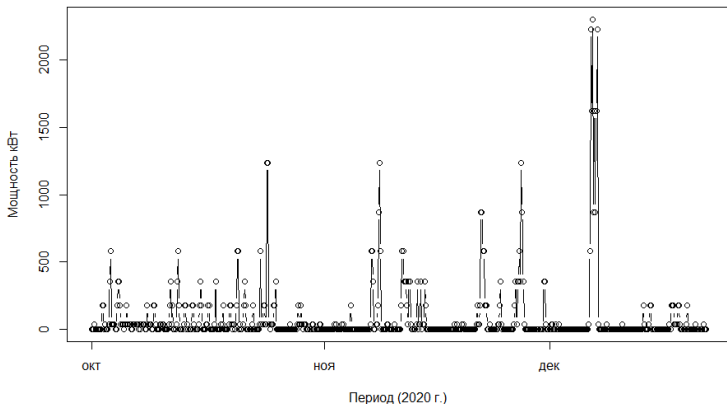
Реализован алгоритм построения розы ветров по данным NCEP.



Обработка данных о ветре

Расчет мощности ветрогенератора Nordex N90 на острове Котлин)

Реализован алгоритм построения розы ветров по данным NCEP.



Обработка данных о ветре

Анализ мощности ветрогенераторов на острове Котлин)

```
> stat.desc(kotlin[,8:14])
```

	speed	Vestad V80	Vestad V164	Siemens 82	Siemens 107	Repower 82	Nordex N90
nbr.val	6.480000e+02	648.000000	648.000000	648.000000	6.480000e+02	648.000000	648.000000
nbr.null	0.000000e+00	412.000000	412.000000	412.000000	4.120000e+02	412.000000	412.000000
nbr.na	0.000000e+00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000e+00	0.000000	0.000000
min	5.077668e-01	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000e+00	0.000000	0.000000
max	1.253737e+01	1797.000000	6984.000000	2183.000000	3.515000e+03	2000.000000	2300.000000
range	1.202961e+01	1797.000000	6984.000000	2183.000000	3.515000e+03	2000.000000	2300.000000
sum	2.024140e+03	36154.000000	148412.000000	45227.000000	7.814200e+04	51000.000000	52789.000000
median	2.932606e+00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000e+00	0.000000	0.000000
mean	3.123673e+00	55.793210	229.03086	69.794753	1.205895e+02	78.703704	81.464506
SE.mean	7.059195e-02	7.742465	28.57073	8.368194	1.402893e+01	8.448265	9.670675
CI.mean.0.95	1.386170e-01	15.203392	56.10255	16.432098	2.754774e+01	16.589328	18.989697
var	3.229129e+00	38844.850526	528953.71157	45377.282384	1.275335e+05	46249.822428	60602.221304
std.dev	1.796978e+00	197.090970	727.29204	213.019441	3.571183e+02	215.057719	246.175184
coef.var	5.752772e-01	3.532526	3.17552	3.052084	2.961438e+00	2.732498	3.021870