

В. А. Минин, Г. В. Никифорова

## РАЙОНИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА В РАЙОНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

### Аннотация

Рассмотрена повторяемость скоростей ветра более чем на 50 метеостанциях европейского Севера России за 10 – летний период наблюдений. Представлены методические подходы к выравниванию эмпирической повторяемости с помощью четырехпараметрического уравнения Гриневича. Показан высокий уровень сходимости эмпирических распределений с полученными аналитическими кривыми.

### Ключевые слова:

*эмпирическая повторяемость скоростей ветра, выравнивание, уравнение Гриневича.*

V. A. Minin, G. V. Nikiforova

## ZONING OF THE REGIMES OF THE FREQUENCY OF WIND SPEEDS IN THE REGIONS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

### Abstract

The speed wind frequency by more than 50 meteorological watch offices of European North of Russia during the 10 years period of observations was considered. The methodological approaches to experimental frequency fitting by means of the four parameter Grinevich equation were presented. The strong convergence of experimental distribution with made analytic curves was described.

### Keywords:

*experimental wind speeds frequency, fitting, Grinevich equation.*

Повторяемость скоростей ветра является одной из важнейших кадастровых характеристик. Она показывает, какую часть времени в течение рассматриваемого периода дули ветры с той или иной скоростью. С помощью этой характеристики выявляется энергетическая ценность ветра и находятся основные энергетические показатели, определяющие эффективность и целесообразность использования энергии ветра.

Задача по определению режима повторяемости скоростей ветра является довольно трудоемкой, так как связана с необходимостью обработки многолетних рядов наблюдений. Трудоемкость расчетов снижается при использовании материалов метеорологических ежемесячников, выпускаемых гидрометеослужбой. В них исходная информация о скоростях ветра уже подвергнута первичной обработке и данные о повторяемости скоростей приведены в виде таблиц, в которых указано число случаев наблюдения скорости по интервалам:  $0 \div 1$ ,  $2 \div 3$ , ...,  $16 \div 17$ ,  $18 \div 20$ ,  $21 \div 24$ ,  $25 \div 28$ ,  $29 \div 34$ ,  $35 \div 40$  и  $>40$  м/с.

Для статистической обработки материалов метеонаблюдений и получения эмпирической повторяемости скоростей ветра используется известное выражение

$$t_i = \frac{r_i}{R}, \quad (1)$$

где  $t_i$  — повторяемость скоростей в  $i$  — том интервале скорости  $\Delta v$ ;  $r_i$  — число замеров скорости, приходящихся на  $i$ -й интервал;  $R$  — общее число замеров скорости за рассматриваемый период времени.

Результаты расчета фактической повторяемости скоростей ветра, полученные в результате обработки материалов метеорологических ежемесячников по метеостанциям севера европейской части России (рис. 1) за 10 –летний период, представлены в табл. 1. В ней приведены в основном пункты, среднегодовая скорость ветра в которых превышает 3,5 м/с. Это районы наиболее перспективные с точки зрения использования энергии ветра.

Численные значения фактической повторяемости скоростей ветра, полученные по данным метеорологических ежемесячников, в табл. 1 представлены по градациям, принятым гидрометеослужбой, т.е. в диапазоне скоростей до 18 м/с по 2-метровым интервалам, а в области более высоких и реже наблюдаемых скоростей — по 3-, 4- и 6-метровым интервалам.

В то же время для выполнения целого ряда ветроэнергетических расчетов необходимо, чтобы данные о повторяемости скоростей ветра были представлены по более мелким, по крайней мере 1-метровым интервалам скорости. Получение таких данных возможно после выравнивания эмпирических распределений скоростей ветра с помощью аналитических зависимостей. Для выравнивания повторяемости в разное время были предложены различные типы уравнений — Поморцева, Гулена, Гудрича, Гриневича, Вейбулла [1, 2, 3–6]. Из них особого внимания при выполнении кадастровых исследований заслуживает 4-параметрическое уравнение Гриневича, имеющее вид [1]:

$$t = \alpha \frac{\Delta v}{\bar{v}} v \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^p \exp \left[ -k \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^n \right], \quad (2)$$

где  $\bar{v}$  — средняя скорость ветра за рассматриваемый период времени;  $\Delta v$  — интервал градации скорости;  $v$  — скорость ветра, повторяемость которой  $t$  ищется в интервале от  $v - \Delta v/2$  до  $v + \Delta v/2$ ;  $\alpha, p, k, n$  — параметры уравнения.

Методика определения параметров  $\alpha, p, k, n$  изложена в работе [1]. В её основе лежит наложение на эмпирическое и аналитическое распределения скоростей ветра четырех условий: суммы повторяемостей скоростей ветра в обоих распределениях составляют единицу, математические ожидания (средние скорости ветра) равны между собой, коэффициенты вариации и асимметрии распределений скоростей также равны между собой. Наложение этих четырех условий дает следующие уравнения:

$$k = \frac{\left[ \Gamma \left( \frac{p+2}{n} \right) \right]^n}{\left[ \Gamma \left( \frac{p+1}{n} \right) \right]^n}, \quad \alpha = n \frac{\left[ \Gamma \left( \frac{p+2}{n} \right) \right]^{p+1}}{\left[ \Gamma \left( \frac{p+1}{n} \right) \right]^{p+2}} \quad (3)$$

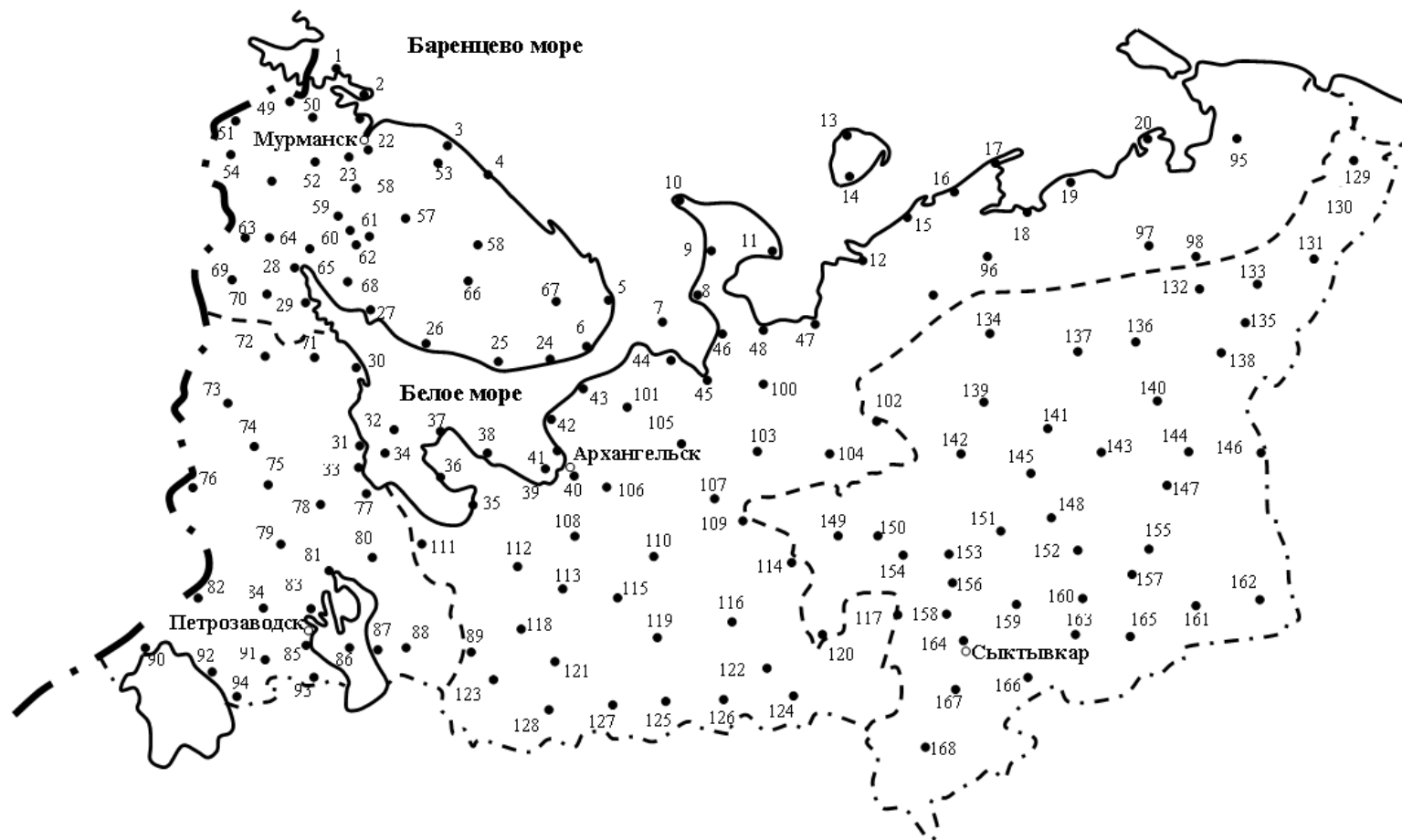


Рис. 1. Расположение метеорологических станций на территории европейского Севера России

Таблица 1

Среднегодовые скорости ветра ( $\bar{v}_Г$ , м/с), фактическая повторяемость скоростей ветра на метеостанциях европейского Севера России (%) и статистические коэффициенты вариации  $C_v$ , асимметрии  $C_s$  и относительной высоты центра тяжести  $C_0$  гистограммы повторяемости (по результатам обработки 10-летних наблюдений)

Метеостанция	$\bar{v}_Г$	Градации скоростей ветра, м/с														$C_v$	$C_s$	$C_0$
		0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	21-24	25-28	29-34	35-40			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. Вайда-губа	6.9	9.4	14.9	19.5	16.3	13.0	9.7	8.7	4.2	2.2	1.8	0.2	0.1	0.02	0.007	0.64	0.71	0.230
2. Цып-Наволоок	7.1	6.7	16.2	21.3	15.9	11.4	10.1	8.8	4.0	2.5	2.6	0.4	0.1	0.01	-	0.64	0.82	0.240
3. Дальние Зеленцы	7.4	7.9	13.7	18.7	15.1	12.1	14.6	7.8	3.5	3.8	2.2	0.5	0.1	0.01	-	0.62	0.68	0.236
4. о. Харлов	9.2	4.9	7.5	13.6	15.6	15.4	13.1	9.9	6.6	5.1	5.5	1.6	0.7	0.4	0.1	0.68	0.95	0.231
5. Терско-Орловск.	7.3	9.8	13.9	18.6	16.1	10.8	13.3	5.7	4.8	2.9	2.7	0.7	0.4	0.2	0.1	0.68	0.95	0.231
6. о. Сосновец	7.3	9.8	13.9	18.6	16.1	10.8	13.3	5.7	4.8	2.9	2.7	0.7	0.4	0.2	0.1	0.68	0.95	0.231
7. о. Моржовец	7.2	5.6	10.5	20.6	18.4	18.5	17.7	7.5	3.5	2.3	1.4	0.1	0.1	-	-	0.55	0.69	0.256
8. м. Конюшин	6.4	9.0	15.5	22.8	17.8	14.6	8.8	6.0	2.8	1.6	0.9	0.2	0.03	0.003	-	0.62	0.75	0.239
9. Шойна	7.4	6.1	12.8	20.9	17.9	13.2	10.4	8.1	3.4	4.1	2.4	0.4	0.3	0.02	0.02	0.62	0.87	0.244
10. Канин Нос	8.4	5.4	11.0	15.4	15.5	14.1	13.5	10.4	5.8	3.9	3.4	1.0	0.4	0.2	0.03	0.59	0.85	0.245
11. м. Микулкин	6.4	10.9	15.1	20.9	17.9	13.9	8.5	5.7	3.5	1.8	1.4	0.3	0.1	0.01	0.007	0.65	0.90	0.230
12. Индига	6.5	11.7	14.6	19.6	16.5	14.2	8.3	7.2	3.4	2.6	1.6	0.2	0.1	0.003	-	0.66	0.70	0.224
13. Колгуев Север.	7.4	7.7	10.9	19.0	16.6	16.0	12.8	7.2	4.3	2.7	2.2	0.4	0.2	0.03	-	0.60	0.73	0.243
14. Бугрино	6.2	7.9	16.2	23.5	19.6	13.2	10.7	4.9	2.3	1.1	0.7	0.1	0.1	0.03	-	0.60	0.89	0.244
15. Сенгейский Шар	6.5	6.5	16.1	21.5	19.3	16.6	9.4	5.3	2.7	1.5	1.0	0.1	0.03	0.02	-	0.58	0.78	0.247
17. Ходовариха	6.4	6.7	15.3	22.8	20.9	14.9	8.9	5.3	2.8	1.2	1.0	0.1	0.1	0.007	-	0.59	0.92	0.242
18. м. Болванский	7.1	5.9	13.4	19.9	19.0	15.8	10.1	7.2	3.2	3.1	1.8	0.4	0.2	0.02	-	0.60	0.89	0.245
20. Варандей	6.2	7.5	18.3	23.0	17.8	13.8	9.2	5.4	2.6	1.5	0.8	0.1	0.04	0.007	-	0.62	0.80	0.238
22. Мурманск	4.9	9.8	25.6	27.3	18.7	10.5	5.5	2.1	0.4	0.1	-	-	-	-	-	0.59	0.73	0.247
24. Пялица	4.9	18.2	22.2	21.6	14.9	9.9	6.6	4.2	1.3	0.8	0.3	0.007	-	-	-	0.72	0.91	0.216
25. Чаваньга	5.6	15.3	18.2	22.5	15.2	10.8	7.8	6.1	2.1	1.3	0.6	0.3	-	-	-	0.70	0.84	0.221
26. Кашкаранцы	5.1	13.6	22.5	23.1	17.0	10.2	7.6	4.8	0.4	0.7	0.1	-	-	-	-	0.66	0.75	0.221
27. Умба	4.3	12.3	31.8	27.4	17.2	6.0	4.0	1.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	0.61	0.89	0.243

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
30. Гридино	4.8	13.9	27.2	27.1	13.5	8.1	5.5	2.5	1.1	0.6	0.4	0.1	-	-	-	0.70	1.23	0.234
32. Соловки	4.4	18.9	24.2	23.6	17.2	9.1	4.4	1.8	0.5	0.2	0.1	0.003	-	-	-	0.68	0.71	0.219
33. Раз-Наволоок	4.6	20.9	22.3	23.1	13.1	8.1	8.1	3.0	0.7	0.4	0.3	0.05	0.01	-	-	0.74	0.93	0.209
36. Лямца	4.8	16.1	24.9	25.6	14.3	8.9	5.7	2.5	1.2	0.6	0.2	0.03	0.01	-	-	0.70	1.05	0.223
37. о. Жижгин	5.8	11.4	17.8	23.5	18.0	13.0	7.0	5.1	2.3	1.2	0.7	0.04	0.01	-	-	0.64	0.83	0.231
40. Архангельск	3.9	11.0	37.7	30.2	15.1	4.8	1.0	0.2	0.03	0.007	0.004	-	-	-	-	0.55	0.74	0.251
41. о. Мудьюг	5.3	13.1	16.9	26.4	19.8	14.5	5.5	2.5	0.8	0.4	0.1	0.03	-	-	-	0.60	0.61	0.238
43. Инцы	5.2	12.4	20.9	23.6	19.0	14.1	5.0	3.3	0.8	0.7	0.2	-	-	-	-	0.62	0.78	0.230
44 м. Абрамовский	6.3	5.8	15.2	25.5	20.9	15.4	8.8	4.6	2.2	1.0	0.5	0.1	0.01	0.01	-	0.56	0.83	0.260
45. Мезень	4.4	10.5	28.9	28.5	18.1	10.3	2.5	0.8	0.2	0.2	0.03	-	-	-	-	0.58	0.76	0.242
50. Перевал	5.6	10.2	19.1	25.3	18.8	12.5	7.2	4.4	1.6	0.7	0.2	0.02	0.004	-	-	0.61	0.75	0.240
58. Колмьявр	5.0	19.6	19.2	21.7	16.3	10.0	6.5	4.2	1.4	0.7	0.4	-	-	-	-	0.72	0.87	0.212
59. Мончегорск	4.4	25.5	22.2	18.0	14.1	9.3	6.2	2.9	1.2	0.4	0.2	-	-	-	-	0.78	0.90	0.205
61. Юкспор	4.9	21.0	22.1	21.4	13.4	8.7	4.9	3.6	1.8	1.4	1.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.84	1.37	0.217
62. Центральная	6.3	14.1	17.5	20.4	14.8	11.1	7.9	5.6	3.0	2.3	2.0	0.6	0.5	0.2	0.05	0.76	1.28	0.221
79. Паданы	3.8	20.0	33.1	24.7	14.3	5.9	1.4	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	0.66	0.93	0.222
85. Петрозаводск	3.6	14.2	40.3	29.6	11.4	3.5	0.8	0.2	0.01	-	-	-	-	-	-	0.57	0.87	0.255
86. Василисин	6.4	6.0	17.5	23.2	18.8	14.7	9.9	5.6	2.5	1.3	0.5	-	-	-	-	0.57	0.68	0.254
95. Коротайха	5.4	11.0	21.7	24.8	18.0	12.3	5.6	3.5	1.6	0.8	0.6	0.1	0.02	-	-	0.65	1.00	0.233
97. Хорей-Вер	5.0	16.5	22.2	22.9	15.9	10.9	6.2	3.3	1.2	0.7	0.2	0.003	0.003	-	-	0.69	0.87	0.214
98. Хоседа-Хард	4.3	22.8	24.5	20.3	13.9	9.8	5.3	2.1	0.8	0.3	0.2	0.02	0.007	-	-	0.75	0.92	0.199
129. Хальмерью	5.3	19.3	15.8	20.4	16.0	12.4	8.6	4.2	1.6	1.0	0.5	0.1	0.1	0.02	-	0.71	0.76	0.204
130. Воркута	5.7	10.5	19.6	22.9	18.2	12.7	9.0	3.8	1.7	0.9	0.6	0.1	0.02	0.02	-	0.63	0.81	0.231
135. Инта	4.2	19.2	25.7	24.1	16.8	8.0	4.3	1.3	0.4	0.2	0.003	-	-	-	-	0.68	0.85	0.208

$$M_2 = \frac{\Gamma\left(\frac{p+3}{n}\right)\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)}{\left[\Gamma\left(\frac{p+2}{n}\right)\right]^2}, M_3 = \frac{\Gamma\left(\frac{p+4}{n}\right)\left[\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)\right]^2}{\left[\Gamma\left(\frac{p+2}{n}\right)\right]^3}, \quad (4)$$

где  $\Gamma$  — гамма-функция;  $M_2$  и  $M_3$  соответственно относительные начальные моменты второй и третьей степеней, связанные с коэффициентами вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$  выражениями:

$$C_v = \sqrt{M_2 - 1}, C_s = \frac{M_3 - 3M_2 + 2}{\sqrt{(M_2 - 1)^3}}. \quad (5)$$

В свою очередь эмпирические относительные начальные моменты второй и третьей степеней определяются выражениями

$$M_2^3 = \frac{\sum_{i=1}^z t_i v_i^2}{\left(\sum_{i=1}^z t_i v_i\right)^2}, M_3^3 = \frac{\sum_{i=1}^z t_i v_i^3}{\left(\sum_{i=1}^z t_i v_i\right)^3}, \quad (6)$$

где  $z$  — число градаций скорости ветра.

Уравнения (4) не могут быть решены в явном виде относительно  $p$  и  $n$ , поскольку в них входит гамма-функция. В [1] предлагается номографическое решение задачи. В данной работе она решалась методом последовательных приближений.

С использованием выражений (3)–(6) можно получить параметры уравнения Гриневича и соответствующие кривые повторяемости для любого пункта. Однако при разработке ветроэнергетического кадастра применительно к такой обширной территории, как например европейский Север, представляется целесообразным проведение районирования режимов повторяемости скоростей ветра, с тем, чтобы выявить группы метеостанций со схожими типами распределения скоростей и получить для них типовые аналитические зависимости.

Как показано выше, основой для определения параметров уравнения Гриневича (2) служат коэффициенты вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$ . Поэтому процесс районирования режимов повторяемости скоростей ветра можно свести к выявлению метеостанций с близкими значениями этих коэффициентов. Из рис.2, где показана графическая взаимосвязь коэффициентов  $C_v$  и  $C_s$ , вычисленных в результате обработки 10-летней информации по метеостанциям европейского Севера (табл. 1), следует, что точки, соответствующие метеостанциям, расположенным в близких физико-географических условиях, достаточно тесно группируются относительно некоторого центра, образуя своеобразный эллипс рассеивания. Рассеивание точек внутри эллипсов может быть отнесено за счет

различия в рельефе и степени открытости станций, погрешностей при производстве наблюдений и других факторов.

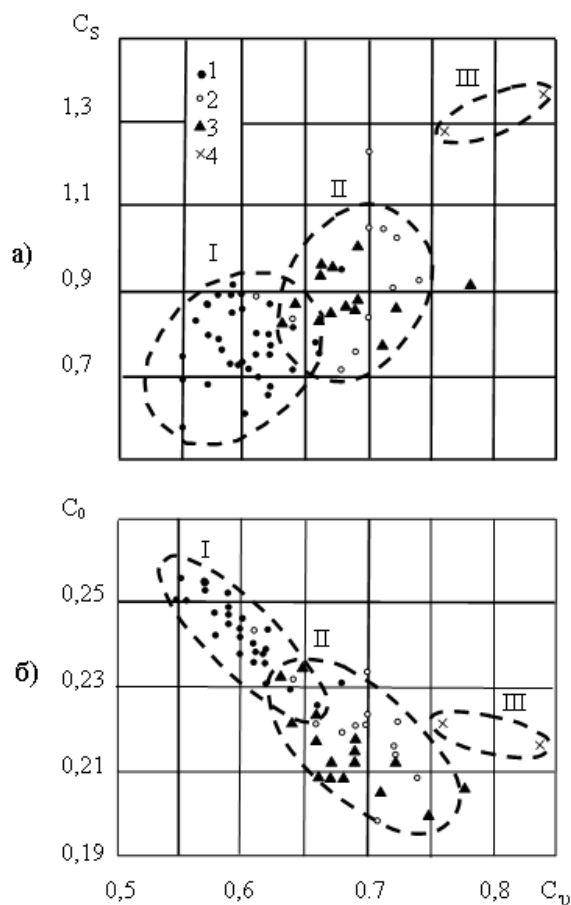


Рис. 2. Связь коэффициентов вариации  $C_v$  и асимметрии,  $C_S$  а также  $C_0$  и относительной высоты центра тяжести  $C_0$  эмпирических распределений скоростей ветра на метеостанциях севера европейской части России.

1 — побережье Баренцева моря; 2 — побережье Белого моря;

3 — пункты, удаленные от побережья; 4 — Хибины.

I, II, III — группы метеостанций

с близкими значениями коэффициентов,  $C_v$ ,  $C_S$ ,  $C_0$

Согласно (5) и (6) ошибки в определении эмпирических коэффициентов  $C_v$  и  $C_S$  обуславливаются, главным образом, неточностями в вычислении повторяемости высоких скоростей ветра. Неточности усиливаются при умножении на квадрат или куб скорости ветра. В связи с этим целесообразно при районировании режимов повторяемости воспользоваться такой статистической характеристикой, как относительная высота центра тяжести площади под кривой распределения [1]:

$$C_0 = \frac{\bar{v}}{2\Delta v} \sum_{i=1}^Z t_i^2. \quad (7)$$

Ценность этой характеристики заключается в том, что при её вычислении возможные ошибки, допущенные при определении повторяемости крайних значений скоростей ветра, скрадываются, а роль средней части распределения, являющейся наиболее достоверной, увеличивается. Рис. 2, б, дающий связь коэффициентов  $C_v$  и  $C_0$ , существенно дополняет предыдущий график (рис. 2, а) и позволяет более четко и строго выполнить районирование режимов повторяемости скоростей ветра.

На основании данных, представленных на рис. 2, в районах севера европейской части России можно выделить следующие 3 группы метеостанций.

Группа I объединяет метеорологические станции, расположенные в прибрежной полосе Баренцева моря. Среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м на этих станциях, как правило, выше 6 м/с. Средние величины статистических коэффициентов здесь следующие:  $C_v = 0,6$ ,  $C_s = 0,9$ ,  $C_0 = 0,2$ .

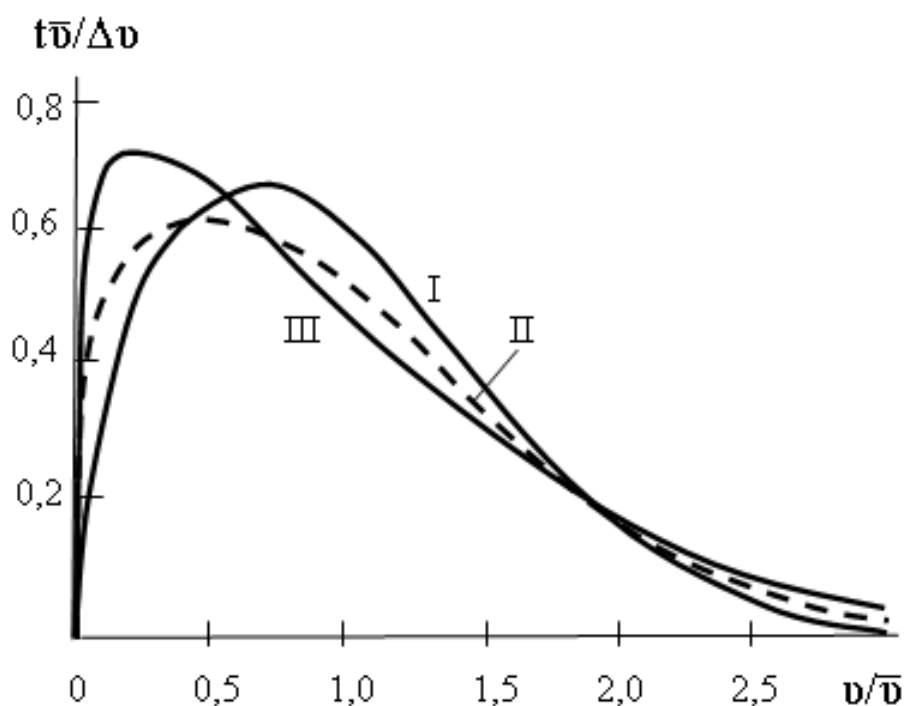


Рис. 3. Кривые относительной повторяемости скоростей ветра в районах европейского Севера России

I — побережье Баренцева моря, II — побережье Белого моря и северо-восточные районы Республики Коми, III — горы Хибинны



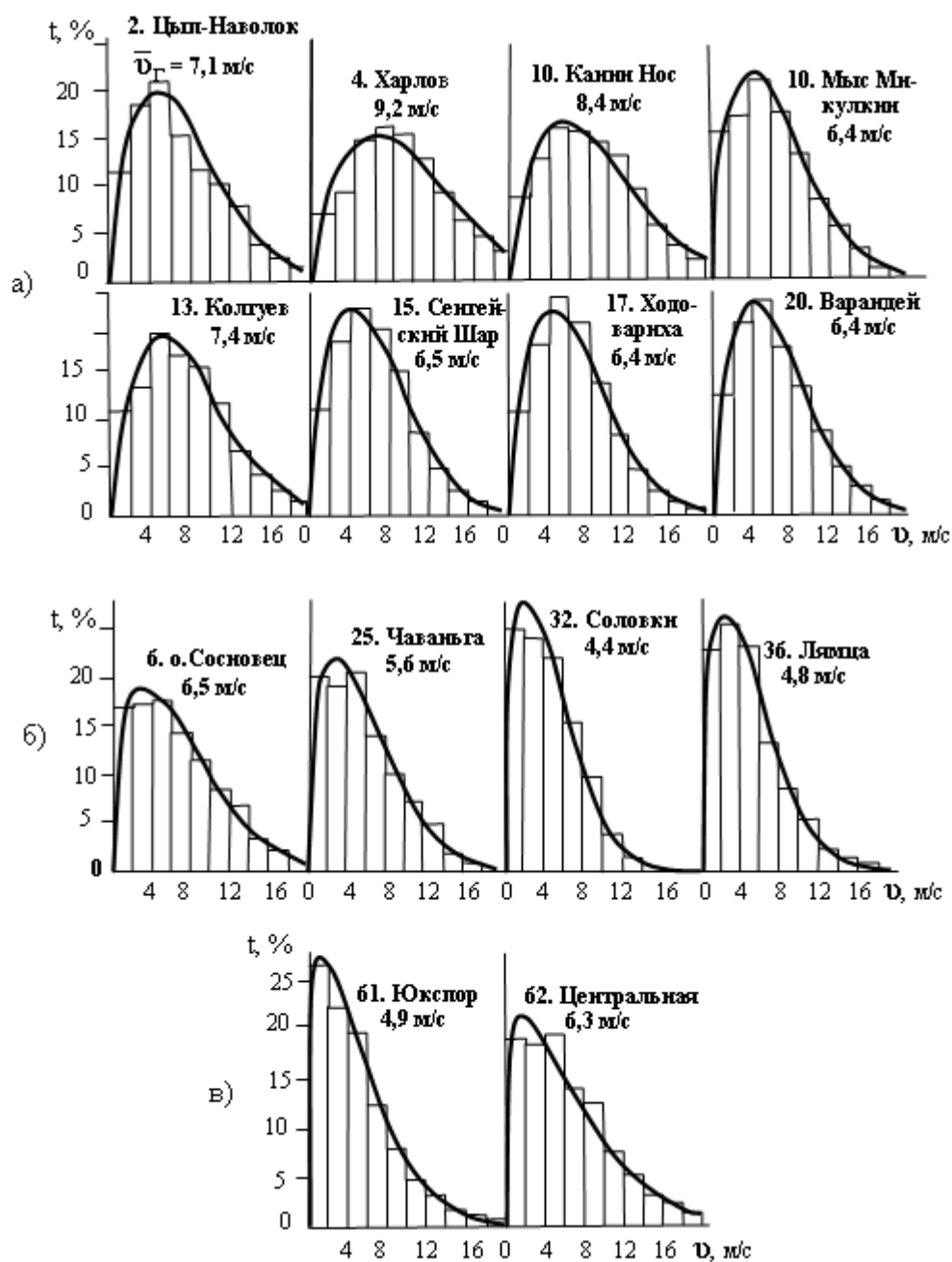


Рис. 4. Фактические данные (гистограммы) и расчётные кривые повторяемости скоростей ветра по уравнению Гриневича в прибрежных пунктах Баренцева моря (а), Белого моря (б) и в горах Хибины (в)

Группа II охватывает станции, у которых среднегодовые скорости находятся в диапазоне 4–6 м/с. Это узкая полоса в прибрежной зоне Кольского полуострова, северо-восток Архангельской области и республики Коми. Для

группы II средние значения статистических коэффициентов равны:  $C_v = 0,7$ ,  $C_s = 0,9$ ,  $C_0 = 0,22$ .

Несколько обособленно на рис. 2 выделяется группа III. Она включает всего 2 метеостанции, расположенные в Хибинском горном массиве в центре Кольского полуострова. Эмпирическое распределение скоростей ветра здесь отличается повышенной асимметрией. Средние величины статистических коэффициентов  $C_v = 0,8$ ,  $C_s = 1,33$ ,  $C_0 = 0,22$ .

Полученные средние значения коэффициентов  $C_v$ ,  $C_s$ , и  $C_0$ , позволили определить параметры  $\alpha, p, k, n$  уравнения Гриневича (2) и записать следующие аналитические зависимости повторяемости скоростей ветра в районах севера европейской части России:

$$\text{тип I} \quad t = 1,038 \frac{\Delta v}{\bar{v}} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{0,5} \exp \left[ -0,547 \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$\text{тип II} \quad t = 0,784 \frac{\Delta v}{\bar{v}} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{0,2} \exp \left[ -0,408 \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad (9)$$

$$\text{тип III} \quad t = 0,825 \frac{\Delta v}{\bar{v}} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{0,1} \exp \left[ -0,60 \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{1,5} \right]. \quad (10)$$

Графическая интерпретация этих зависимостей в виде кривых относительной повторяемости скоростей ветра приведена на рис. 3.

Уравнения (8)–(10) весьма универсальны. Они позволяют по известным значениям средней многолетней скорости ветра на высоте 10 м (табл. 1) и известному вертикальному профилю среднегодовых скоростей получить повторяемость скоростей ветра для условий открытой ровной местности в любом пункте и на любой высоте.

Соответствие установленных типов распределений данным фактических наблюдений лучше всего может быть показано путем графического сопоставления кривых, построенных по уравнениям (8)–(10), с гистограммами фактических распределений. При этом следует лишь иметь в виду, что здесь мы имеем дело не с индивидуальным подбором кривой для каждой станции, а используем типовую зависимость для целой группы станций, рассредоточенных на сотни километров. Из графических построений, представленных на рис. 4, следует, что сходимость аналитического и фактического распределений достаточно высокая. Математическая оценка сходимости, выполненная по известному критерию  $\chi^2$  Пирсона [7], дала вполне удовлетворительные результаты: вероятность  $P(\chi^2)$  по большинству станций оказалась не ниже 0,8.

## Литература

1. Гриневич Г. А. Опыт разработки элементов малого ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1952. 151 с.
2. Методы разработки ветроэнергетического кадастра. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 196 с.
3. Шефтер Я. И. Ветроэнергетические агрегаты. М.: Машиностроение, 1972. 287 с.
4. Емшанова Н. В., Степанова Н. Е. Оценка климатологически оптимального режима использования ветровой энергии // Тр. / ВНИИ ГМИ\_МЦД, 1985. Вып.125. С. 10–19.
5. Брагинская Л. Л., Каган Р. Л. К вопросу об аппроксимации распределения скорости ветра // Тр. / ГГО, 1982. Вып. 447. С. 49–57.
6. Колодин М. В. Типизация режимов оптимизации скоростей ветра в Туркменской ССР // Изв. АН ТуркмССР. Сер. тех. наук. 1960. № 6. С. 38–45.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 576 с.

## Сведения об авторах

### Минин Валерий Андреевич,

заведующий лабораторией Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, к.т.н. Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д.21А  
Эл. почта: minin@ien.kolasc.net.ru

### Никифорова Галина Викторовна,

инженер I категории Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д.21А  
Эл. почта: nikiforova@ien.kolasc.net.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.16.3.157-162

УДК 621.548 (470.21)

А. А. Рожкова

## ВЕТРОПАРК В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА ЛИИНАХАМАРИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

### Аннотация

В статье приведена оценка перспектив строительства ветропарка в районе поселка Лиинахамари на побережье Баренцева моря. Разработаны схемы размещения и соединения ветроустановок внутри ветропарка и выдачи 100 МВт суммарной мощности в Кольскую энергосистему. Показана экономическая эффективность предлагаемого проекта.

### Ключевые слова:

*ветровая энергия, ветропарк, экономическая оценка.*

А. А. Rozhkova

## THE WIND FARM NEAR LIINAKHAMARI'S SETTLEMENT ON THE COAST OF THE BARENTS SEA

### Abstract

The article gives an assessment of the prospects for the construction of a wind farm near the village of Liinakhamari on the coast of the Barents Sea. The schemes for placing and connecting wind turbines inside a wind farm and issuing 100 MW of total capacity to the Kola power system have been developed. The economic efficiency of the proposed project is shown.

### Keywords:

*wind energy, the wind farm, economic evaluation.*