

Государственное учреждение образования
«Красновский ясли-сад – средняя школа»

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА
Учебно-исследовательская работа

учащихся 7 класса
Мошенской Анастасии
Бекиша Андрея
Руководитель:
Козлов Павел Тихонович
учитель информатики

Красновка 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	3
2	ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	4
2.1	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ	4
2.2	ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
3	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	12
	ПРИЛОЖЕНИЯ	13

1 ВВЕДЕНИЕ

Цель нашей работы:

создание и исследование простого прибора для определения скорости ветра.

В ходе работы нами были решены следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование работы прибора
2. Изготовление прибора
3. Проведение экспериментов с целью определения погрешности прибора

Создать прибор для измерения скорости ветра нас вынудила необходимость определения коэффициента использования силы ветра и коэффициента полезного действия, создаваемого нами ветрогенератора.

Знание точного значения скорости ветра необходимо во многих сферах деятельности человека - от прогнозирования погоды до проведения соревнований по различным видам спорта.

Справедливости ради, стоит заметить, что для нашей цели достаточно было определить силу действия ветра в ньютонах на метр квадратный, что не составило для нас большого труда. Определить скорость ветра с точностью до 0,2 м/сек оказалось намного труднее. Оказалось, что при одинаковой силе воздействия скорость ветра может существенно отличаться в зависимости от температуры и влажности воздуха, а также атмосферного давления.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

Скорость ветра мы решили определять через силу воздействия потока воздуха на неподвижную плоскую пластину. Для определения силы мы воспользовались вторым законом Ньютона

$$F = m \cdot a,$$

где m - масса (в нашем случае масса воздуха), a - ускорение. Ускорение мы вычисляем как изменение скорости ветра (v_B) -

$$a = \frac{v_B - v_0}{t},$$

считая скорость ветра возле пластины равной нулю получим

$$a = \frac{v_B}{t}.$$

Массу воздуха определяем как произведение объёма на плотность

$$m = \rho \cdot V.$$

Объём: произведение площади на длину:

$$V = S \cdot L,$$

длина - произведение скорости ветра на время:

$$L = v_B \cdot t.$$

Применив преобразования получаем следующую формулу:

$$F = \rho \cdot S \cdot v_B^2,$$

а с учётом коэффициента сопротивления

$$F = C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v_B^2.$$

и использовали её для определения скорости ветра:

$$v_B = \sqrt{\frac{F}{\rho S C_x}}$$

где: F – сила давления воздушного потока, ρ – плотность воздуха $1,29$ $[\text{кг}/\text{м}^3]$, S – площадь поперечного сечения пластины, v_B – скорость потока воздуха $[\text{м}/\text{с}]$, $C_x = 1,11$ - коэффициент сопротивления.

Значения коэффициентов сопротивления C_x для некоторых тел приведены ниже.[4]

- Тонкая пластина перпендикулярная потоку $C_x = 1,11$ – для небольших пластин и $C_x = 1,33$ для больших пластин

- Полусфера, отверстие обращено навстречу потоку (парашют) $C_x=1,33$
- Полусфера, отверстие обращено по потоку $C_x =0,35$
- Тело обтекаемой каплеобразной формы $C_x =0,05$

Просмотрев архив погоды в Светлогорске за год мы определили, что влажность воздуха изменялась в пределах от 46% до 100%, причём 100% влажность была при температурах ниже +10°C. Сопоставив эти данные с показателями Таблицы 1 мы определили, что максимальная разность массы воздуха в зависимости от влажности не превышает 0,02 кг/м³ и на нашу точность измерений существенно не влияет.

Таблица 1[6]

Таблица перевода относительной влажности в абсолютную в зависимости от температуры воздуха при нормальном атмосферном давлении.

Относительная Влажность	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Температура воздуха (°C)	<u>абсолютная влажность г/м³</u>									
30	3	6,1	9,1	12,1	15,2	18,2	21,3	24,3	27,3	30,4
25	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	16,1	18,4	20,7	23
20	1,7	3,5	5,2	6,9	8,7	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3
15	1,3	2,6	3,9	5,1	6,4	7,7	9	10,3	11,5	12,8
10	0,9	1,9	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	7,5	8,5	9,4
5	0,7	1,4	2	2,7	3,4	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8
0	0,5	1	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,8
-5	0,3	0,7	1	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4
-10	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3
-15	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1,1	1,3	1,5	1,6
-20	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-25	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6

Приблизительно тот же результат мы получили в зависимости от давления.

Разница в плотности воздуха в зависимости от температуры оказалась довольно существенной (Таблица 2) и поэтому мы рассчитали по три разные шкалы для каждой из пластин (для температур -20°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$). При показании динамометра 4 Н расчётная скорость ветра при -20°C – 7,3 м/с, 0°C – 7,5 м/с, $+20^{\circ}\text{C}$ – 7,8 м/с при площади пластины $0,098\text{ м}^2$.

Таблица 2[5]

Плотность воздуха в зависимости от температуры

Таблица значений плотности воздуха в сухом состоянии при различных температурах и нормальном атмосферном давлении.

Плотность воздуха в таблице выражена в килограммах на кубический метр и дана в интервале температуры от минус 30 до 30 градусов Цельсия при нормальном атмосферном давлении (101325 Па).

t, °C	ρ , кг/м ³
-30	1,453
-25	1,424
-20	1,395
-15	1,369
-10	1,342
-5	1,318
0	1,293
5	1,2705
10	1,247
15	1,226
20	1,205
25	1,185
30	1,165

2.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам наших расчётов мы изготовили прибор для измерения силы и скорости ветра со сменными пластинами (в зависимости от скорости ветра) и шкалами (в зависимости от температуры воздуха).



Расчёты проводили в электронной таблице (Приложение 1)

Динамометр закрепили к нижнему краю пластины, второй край неподвижен, поэтому величина показаний динамометра равна половине силы, действующей на пластину. Это утверждение мы проверили экспериментально – показания динамометра равнялись половине веса груза, размещенного в центре пластины:



Для контрольного определения скорости ветра мы использовали следующие опыты:

1. Запускали воздушный шарик и секундомером определяли время, за которое он пролетал расстояние 20 м. Расстояние, которое пролетал шарик, делили на время его преодоления.

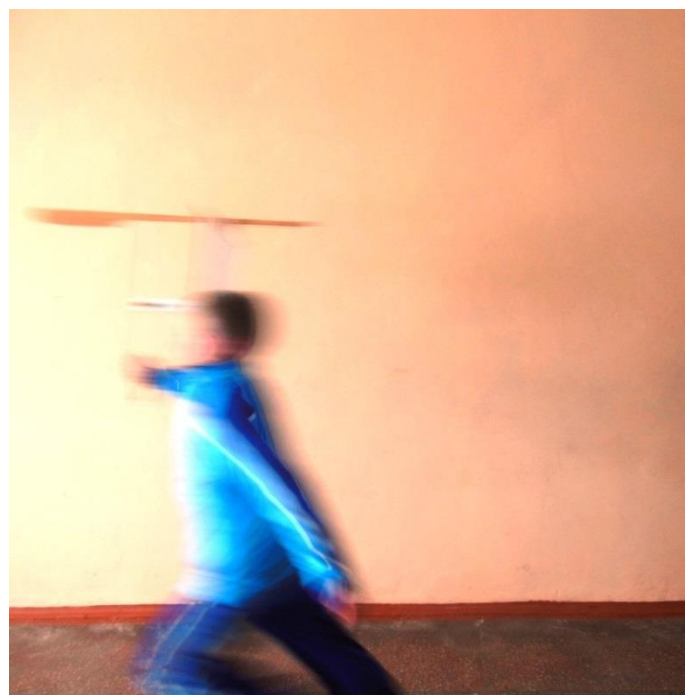


Одновременно мы измеряли силу, действующую на пластину расположенную перпендикулярно ветру. Опыт повторяли многократно при различных скоростях ветра и температуре воздуха около 0° . На приборе использовали шкалу, составленную нами для температуры 0° . Результаты заносили в таблицу:

№ опыта	Расстояние	Время	Скорость шарика	Показания прибора (мин)	Показания прибора (макс)	среднее	Разность показаний
1	20	5,81	3,44	2,9	4,1	3,5	0,06
2	20	4,98	4,02	3,2	4,6	3,9	-0,12
3	20	5,17	3,87	2,7	4,8	3,75	-0,12
4	20	6,09	3,28	2,4	4,5	3,45	0,17
5	20	5,22	3,83	3,4	4,1	3,75	-0,08

Из результатов этого опыта сделали вывод: разность показаний среднего значение нашего прибора и скорости движения шарика не превышает $0,2$ м/с, но достоверно утверждать (из-за неустойчивой скорости ветра) мы этого не можем.

2. Учащийся с прибором в руке пробежал 50 м по коридору школы с постоянной скоростью 4 м/с, ориентируясь на показания прибора. Время



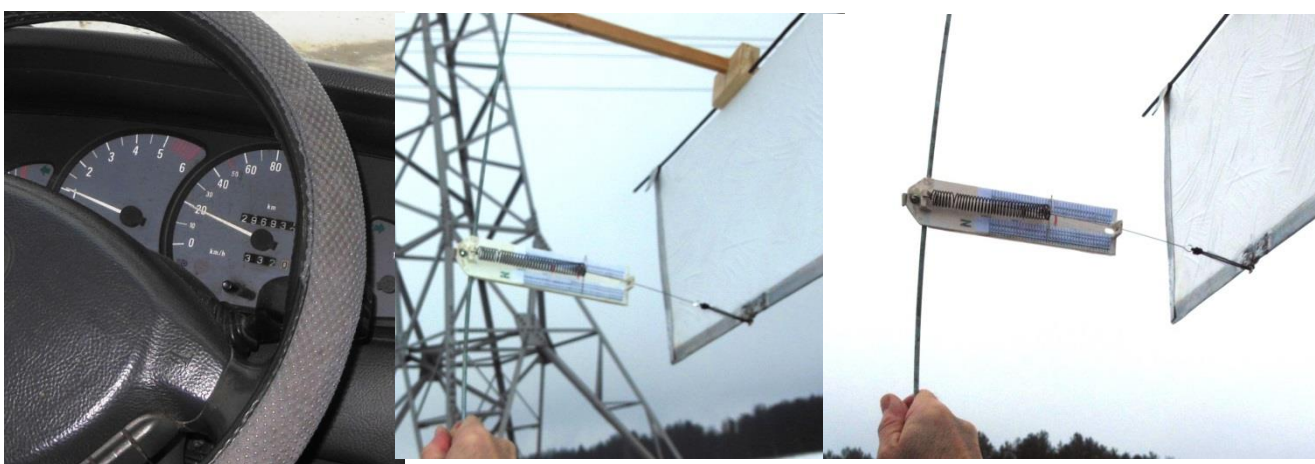
прохождения дистанции фиксировали секундомером. Скорость учащегося определяли также как и скорость шарика, затем сравнивали показания нашего прибора и расчётов. Опыт повторяли многократно при различных скоростях ветра и температуре воздуха около $+20^{\circ}$. На приборе использовали шкалу, составленную нами для температуры $+20^{\circ}$. Опыт проводили многократно. Результаты заносили в таблицу:

№ опыта	Расстояние (м)	Время (сек)	Средняя скорость учащегося (м/сек)	Показания прибора (м/сек)	Разность показаний
1	50	12,64	3,96	4	-0,04
2	50	12,09	4,14	4	0,14
3	50	12,52	3,99	4	-0,01
4	50	12,17	4,11	4	0,11
5	50	12,23	4,09	4	0,09

Из результатов этого опыта сделали вывод: разность показаний значения нашего прибора и скорости движения учащегося не превышает 0,2 м/с.

3. В автомобиле, двигающемся со скоростью 20 км/ч \approx 5,6 м/с измеряли скорость встречного потока воздуха при движении по ветру и против ветра. Опыт повторяли 5 раз при температуре воздуха около 0°. Скорость ветра была небольшой и нашим прибором не фиксировалась. На приборе использовали шкалу, составленную нами для температуры 0°. Результаты заносили в таблицу:

№ опыта	Скорость автомобиля (м/сек)	Показания прибора по ветру (м/сек)	Показания прибора против ветра (м/с)	Среднее значение показаний прибора (м/с)	Разность показаний
1	5,6	5,1	5,9	5,5	0,1
2	5,6	5,2	5,8	5,5	0,1
3	5,6	4,9	6	5,45	0,15
4	5,6	4,8	6,2	5,5	0,1
5	5,6	4,6	6,3	5,45	0,15



Из результатов опыта сделали вывод: точность показаний нашего прибора не превышает 0,2 м/с, а большие показания спидометра автомобиля объясняются погрешностью прибора (по некоторым данным -6%). Скорость ветра при проведении эксперимента не превышала 1 м/с.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения нашей работы мы получили следующие результаты:

1. Вывели формулу расчёта скорости ветра в зависимости от площади пластины, силы ветра и плотности воздуха.
2. Изготовили прибор для измерения скорости ветра с двумя сменными пластинами площадью $0,098 \text{ м}^2$ и $0,025 \text{ м}^2$ для измерения скоростей ветра от $3,2 \text{ м/с}$ до $7,5 \text{ м/с}$ для большей пластины и от 11 м/с до 15 м/с для меньшей пластины.
3. Провели исследование работы прибора тремя разными способами.
4. Выяснили, что в указанных диапазонах (от $3,2 \text{ м/с}$ до $7,5 \text{ м/с}$ для большей пластины и от 11 м/с до 15 м/с для меньшей пластины) наш прибор определяет скорость ветра с точность до $0,2 \text{ м/с}$.

Выводы

Данный прибор можно использовать для измерения скорости ветра с точность $0,2 \text{ м/с}$ в пределах от 3 до 15 м/с добавив ещё одну съёмную пластину площадью $0,5 \text{ м}^2$. Для измерения скорости ветра от 1 м/с с точностью $0,2 \text{ м/с}$ необходима пластина площадью более 1 м^2 , что делает прибор довольно громоздким и неудобным в использовании.

Возможное использование результатов работы:

1. Использование при расчёте коэффициента полезного действия ветрогенератора.
2. Изучение возможности использования энергии ветра в данной местности.
3. Измерение скорости ветра при проведении лабораторных работ и составлении календаря погоды учащимися, проведении соревнований.
4. Использование результатов работы при создании приложения к современным гаджетам для измерения скорости ветра, скорости движения, определения веса (чехол для смартфона с датчиком давления).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фізіка: вучэб. дапам. для 9-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларускай мовай навучання/ Л.А. Ісачанкава, Г.У. Пальчык, А.А. Сакольскі; пад рэд. А.А. Сакольскага; пер. з рус. мовы Н.Г. Ляўчук – Мінск: Нар. асвета, 2010. – 213с.: іл.
2. Фізіка: падруч для 7-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларускай мовай навучання/ Л.А. Ісачанкава, Ю.Д. Ляшчынскі; пад рэд. Л.А. Ісачанкавай; пер. з рус. мовы Т.Р. Сяржант. – Мінск: Нар. асвета, 2009. – 181с.: іл.
3. Фізіка: падруч. для 8-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларускай мовай навучання/ Л.А. Ісачанкава, Ю.Д. Ляшчынскі; пад рэд. Л.А. Ісачанкавай; пер. з рус. мовы Н.Г. Ляўчук – Мінск: Нар. асвета, 2010. – 183с.: іл.
4. http://www.rosinmn.ru/vetro/teorija_parusa/teorija_parusa.htm
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85%D0%B0
6. <http://biofile.ru/geo/7496.html>

Расчёт площади пластин

t	ρ (кг/м куб)	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	H (м)	a (м)
0	1,293	8	0,025	1,11	14,932	53,7547	0,25	0,1
0	1,293	8	0,0275	1,11	14,237	51,2531	0,25	0,11
0	1,293	8	0,03	1,11	13,631	49,0711	0,25	0,12
0	1,293	8	0,0325	1,11	13,096	47,146	0,25	0,13
0	1,293	8	0,035	1,11	12,62	45,431	0,25	0,14
0	1,293	8	0,0375	1,11	12,192	43,8906	0,25	0,15
0	1,293	8	0,04	1,11	11,805	42,4969	0,25	0,16
0	1,293	8	0,0425	1,11	11,452	41,228	0,25	0,17
0	1,293	8	0,045	1,11	11,13	40,0664	0,25	0,18
0	1,293	8	0,0475	1,11	10,833	38,9978	0,25	0,19
0	1,293	8	0,05	1,11	10,558	38,0103	0,25	0,2
0	1,293	8	0,0525	1,11	10,304	37,0943	0,25	0,21
0	1,293	8	0,055	1,11	10,067	36,2414	0,25	0,22
0	1,293	8	0,0575	1,11	9,8458	35,4448	0,25	0,23
0	1,293	8	0,06	1,11	9,6385	34,6985	0,25	0,24
0	1,293	8	0,0625	1,11	9,4437	33,9975	0,25	0,25
0	1,293	8	0,065	1,11	9,2604	33,3373	0,25	0,26
0	1,293	8	0,0675	1,11	9,0872	32,7141	0,25	0,27
0	1,293	8	0,07	1,11	8,9235	32,1246	0,25	0,28
0	1,293	8	0,0725	1,11	8,7683	31,5659	0,25	0,29
0	1,293	8	0,075	1,11	8,6209	31,0353	0,25	0,3
0	1,293	8	0,0775	1,11	8,4807	30,5306	0,25	0,31
0	1,293	8	0,08	1,11	8,3472	30,0498	0,25	0,32
0	1,293	8	0,0825	1,11	8,2197	29,591	0,25	0,33
0	1,293	8	0,085	1,11	8,0979	29,1526	0,25	0,34
0	1,293	8	0,0875	1,11	7,9814	28,7331	0,25	0,35
0	1,293	8	0,09	1,11	7,8698	28,3312	0,25	0,36
0	1,293	8	0,0925	1,11	7,7627	27,9458	0,25	0,37
0	1,293	8	0,098175	1,11	7,535	27,126	0,255	0,385

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,98 м² и температуры 0° С

t	ρ (кг/м куб)	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	Высота пластины (м)	Ширина пластины	F (Н)
0	1,293	8	0,098	1,11	7,5	27,126	0,255	0,385	4
0	1,293	7,8	0,098	1,11	7,4	26,7848	0,255	0,385	3,9
0	1,293	7,6	0,098	1,11	7,3	26,4392	0,255	0,385	3,8
0	1,293	7,4	0,098	1,11	7,2	26,089	0,255	0,385	3,7
0	1,293	7,2	0,098	1,11	7,1	25,734	0,255	0,385	3,6
0	1,293	7	0,098	1,11	7,0	25,3741	0,255	0,385	3,5
0	1,293	6,8	0,098	1,11	6,9	25,009	0,255	0,385	3,4
0	1,293	6,6	0,098	1,11	6,8	24,6384	0,255	0,385	3,3
0	1,293	6,4	0,098	1,11	6,7	24,2623	0,255	0,385	3,2
0	1,293	6,2	0,098	1,11	6,6	23,8802	0,255	0,385	3,1
0	1,293	6	0,098	1,11	6,5	23,4918	0,255	0,385	3
0	1,293	5,8	0,098	1,11	6,4	23,097	0,255	0,385	2,9
0	1,293	5,6	0,098	1,11	6,3	22,6953	0,255	0,385	2,8
0	1,293	5,4	0,098	1,11	6,2	22,2863	0,255	0,385	2,7
0	1,293	5,2	0,098	1,11	6,1	21,8697	0,255	0,385	2,6
0	1,293	5	0,098	1,11	6,0	21,445	0,255	0,385	2,5
0	1,293	4,8	0,098	1,11	5,8	21,0117	0,255	0,385	2,4
0	1,293	4,6	0,098	1,11	5,7	20,5693	0,255	0,385	2,3
0	1,293	4,4	0,098	1,11	5,6	20,1172	0,255	0,385	2,2
0	1,293	4,2	0,098	1,11	5,5	19,6547	0,255	0,385	2,1
0	1,293	4	0,098	1,11	5,3	19,181	0,255	0,385	2
0	1,293	3,8	0,098	1,11	5,2	18,6953	0,255	0,385	1,9
0	1,293	3,6	0,098	1,11	5,1	18,1967	0,255	0,385	1,8
0	1,293	3,4	0,098	1,11	4,9	17,684	0,255	0,385	1,7
0	1,293	3,2	0,098	1,11	4,8	17,156	0,255	0,385	1,6
0	1,293	3	0,098	1,11	4,6	16,6112	0,255	0,385	1,5
0	1,293	2,8	0,098	1,11	4,5	16,048	0,255	0,385	1,4
0	1,293	2,6	0,098	1,11	4,3	15,4642	0,255	0,385	1,3
0	1,293	2,4	0,098	1,11	4,1	14,8575	0,255	0,385	1,2
0	1,293	2,2	0,098	1,11	4,0	14,225	0,255	0,385	1,1
0	1,293	2	0,098	1,11	3,8	13,563	0,255	0,385	1
0	1,293	1,8	0,098	1,11	3,6	12,867	0,255	0,385	0,9
0	1,293	1,6	0,098	1,11	3,4	12,1311	0,255	0,385	0,8
0	1,293	1,4	0,098	1,11	3,2	11,3476	0,255	0,385	0,7
0	1,293	1,2	0,098	1,11	2,9	10,5059	0,255	0,385	0,6
0	1,293	1	0,098	1,11	2,7	9,5905	0,255	0,385	0,5
0	1,293	0,8	0,098	1,11	2,4	8,578	0,255	0,385	0,4
0	1,293	0,6	0,098	1,11	2,1	7,42877	0,255	0,385	0,3
0	1,293	0,4	0,098	1,11	1,7	6,06557	0,255	0,385	0,2
0	1,293	0,2	0,098	1,11	1,2	4,289	0,255	0,385	0,1
0	1,293	0	0,098	1,11	0,0	0	0,255	0,385	0

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,98 м² и температуры 20° С

t	ρ (кг/м куб)	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	Высота пластины (м)	Ширина пластины	F (Н)
20	1,205	8	0,098	1,11	7,8	28,0991	0,255	0,385	4
20	1,205	7,8	0,098	1,11	7,7	27,7456	0,255	0,385	3,9
20	1,205	7,6	0,098	1,11	7,6	27,3876	0,255	0,385	3,8
20	1,205	7,4	0,098	1,11	7,5	27,0248	0,255	0,385	3,7
20	1,205	7,2	0,098	1,11	7,4	26,6571	0,255	0,385	3,6
20	1,205	7	0,098	1,11	7,3	26,2843	0,255	0,385	3,5
20	1,205	6,8	0,098	1,11	7,2	25,9061	0,255	0,385	3,4
20	1,205	6,6	0,098	1,11	7,1	25,5223	0,255	0,385	3,3
20	1,205	6,4	0,098	1,11	7,0	25,1326	0,255	0,385	3,2
20	1,205	6,2	0,098	1,11	6,9	24,7368	0,255	0,385	3,1
20	1,205	6	0,098	1,11	6,8	24,3345	0,255	0,385	3
20	1,205	5,8	0,098	1,11	6,6	23,9255	0,255	0,385	2,9
20	1,205	5,6	0,098	1,11	6,5	23,5094	0,255	0,385	2,8
20	1,205	5,4	0,098	1,11	6,4	23,0857	0,255	0,385	2,7
20	1,205	5,2	0,098	1,11	6,3	22,6542	0,255	0,385	2,6
20	1,205	5	0,098	1,11	6,2	22,2143	0,255	0,385	2,5
20	1,205	4,8	0,098	1,11	6,0	21,7655	0,255	0,385	2,4
20	1,205	4,6	0,098	1,11	5,9	21,3072	0,255	0,385	2,3
20	1,205	4,4	0,098	1,11	5,8	20,8388	0,255	0,385	2,2
20	1,205	4,2	0,098	1,11	5,7	20,3597	0,255	0,385	2,1
20	1,205	4	0,098	1,11	5,5	19,869	0,255	0,385	2
20	1,205	3,8	0,098	1,11	5,4	19,366	0,255	0,385	1,9
20	1,205	3,6	0,098	1,11	5,2	18,8494	0,255	0,385	1,8
20	1,205	3,4	0,098	1,11	5,1	18,3184	0,255	0,385	1,7
20	1,205	3,2	0,098	1,11	4,9	17,7714	0,255	0,385	1,6
20	1,205	3	0,098	1,11	4,8	17,2071	0,255	0,385	1,5
20	1,205	2,8	0,098	1,11	4,6	16,6236	0,255	0,385	1,4
20	1,205	2,6	0,098	1,11	4,4	16,0189	0,255	0,385	1,3
20	1,205	2,4	0,098	1,11	4,3	15,3905	0,255	0,385	1,2
20	1,205	2,2	0,098	1,11	4,1	14,7353	0,255	0,385	1,1
20	1,205	2	0,098	1,11	3,9	14,0495	0,255	0,385	1
20	1,205	1,8	0,098	1,11	3,7	13,3286	0,255	0,385	0,9
20	1,205	1,6	0,098	1,11	3,5	12,5663	0,255	0,385	0,8
20	1,205	1,4	0,098	1,11	3,3	11,7547	0,255	0,385	0,7
20	1,205	1,2	0,098	1,11	3,0	10,8827	0,255	0,385	0,6
20	1,205	1	0,098	1,11	2,8	9,93452	0,255	0,385	0,5
20	1,205	0,8	0,098	1,11	2,5	8,88571	0,255	0,385	0,4
20	1,205	0,6	0,098	1,11	2,1	7,69525	0,255	0,385	0,3
20	1,205	0,4	0,098	1,11	1,7	6,28314	0,255	0,385	0,2
20	1,205	0,2	0,098	1,11	1,2	4,44285	0,255	0,385	0,1
20	1,205	0	0,098	1,11	0,0	0	0,255	0,385	0

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,98 м² и температуры -20° С

t	ρ (кг/м куб)	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	Высота пластины (м)	Ширина пластины (м)	F (Н)
-20	1,395	8	0,098	1,11	7,3	26,1155	0,255	0,385	4
-20	1,395	7,8	0,098	1,11	7,2	25,787	0,255	0,385	3,9
-20	1,395	7,6	0,098	1,11	7,1	25,4542	0,255	0,385	3,8
-20	1,395	7,4	0,098	1,11	7,0	25,1171	0,255	0,385	3,7
-20	1,395	7,2	0,098	1,11	6,9	24,7753	0,255	0,385	3,6
-20	1,395	7	0,098	1,11	6,8	24,4288	0,255	0,385	3,5
-20	1,395	6,8	0,098	1,11	6,7	24,0773	0,255	0,385	3,4
-20	1,395	6,6	0,098	1,11	6,6	23,7206	0,255	0,385	3,3
-20	1,395	6,4	0,098	1,11	6,5	23,3584	0,255	0,385	3,2
-20	1,395	6,2	0,098	1,11	6,4	22,9905	0,255	0,385	3,1
-20	1,395	6	0,098	1,11	6,3	22,6167	0,255	0,385	3
-20	1,395	5,8	0,098	1,11	6,2	22,2366	0,255	0,385	2,9
-20	1,395	5,6	0,098	1,11	6,1	21,8498	0,255	0,385	2,8
-20	1,395	5,4	0,098	1,11	6,0	21,4561	0,255	0,385	2,7
-20	1,395	5,2	0,098	1,11	5,8	21,055	0,255	0,385	2,6
-20	1,395	5	0,098	1,11	5,7	20,6461	0,255	0,385	2,5
-20	1,395	4,8	0,098	1,11	5,6	20,229	0,255	0,385	2,4
-20	1,395	4,6	0,098	1,11	5,5	19,8031	0,255	0,385	2,3
-20	1,395	4,4	0,098	1,11	5,4	19,3678	0,255	0,385	2,2
-20	1,395	4,2	0,098	1,11	5,3	18,9225	0,255	0,385	2,1
-20	1,395	4	0,098	1,11	5,1	18,4665	0,255	0,385	2
-20	1,395	3,8	0,098	1,11	5,0	17,9989	0,255	0,385	1,9
-20	1,395	3,6	0,098	1,11	4,9	17,5188	0,255	0,385	1,8
-20	1,395	3,4	0,098	1,11	4,7	17,0252	0,255	0,385	1,7
-20	1,395	3,2	0,098	1,11	4,6	16,5169	0,255	0,385	1,6
-20	1,395	3	0,098	1,11	4,4	15,9924	0,255	0,385	1,5
-20	1,395	2,8	0,098	1,11	4,3	15,4501	0,255	0,385	1,4
-20	1,395	2,6	0,098	1,11	4,1	14,8881	0,255	0,385	1,3
-20	1,395	2,4	0,098	1,11	4,0	14,3041	0,255	0,385	1,2
-20	1,395	2,2	0,098	1,11	3,8	13,6951	0,255	0,385	1,1
-20	1,395	2	0,098	1,11	3,6	13,0578	0,255	0,385	1
-20	1,395	1,8	0,098	1,11	3,4	12,3877	0,255	0,385	0,9
-20	1,395	1,6	0,098	1,11	3,2	11,6792	0,255	0,385	0,8
-20	1,395	1,4	0,098	1,11	3,0	10,9249	0,255	0,385	0,7
-20	1,395	1,2	0,098	1,11	2,8	10,1145	0,255	0,385	0,6
-20	1,395	1	0,098	1,11	2,6	9,2323	0,255	0,385	0,5
-20	1,395	0,8	0,098	1,11	2,3	8,25845	0,255	0,385	0,4
-20	1,395	0,6	0,098	1,11	2,0	7,15203	0,255	0,385	0,3
-20	1,395	0,4	0,098	1,11	1,6	5,8396	0,255	0,385	0,2
-20	1,395	0,2	0,098	1,11	1,1	4,12922	0,255	0,385	0,1
-20	1,395	0	0,098	1,11	0,0	0	0,255	0,385	0

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,25 м² и температуры 0° С

t	(кг/м куб)	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	H (м)	a (м)	F (Н)
0	1,293	8	0,026	1,11	14,8	53,23	0,255	0,1	4
0	1,293	7,8	0,026	1,11	14,6	52,56	0,255	0,1	3,9
0	1,293	7,6	0,026	1,11	14,4	51,88	0,255	0,1	3,8
0	1,293	7,4	0,026	1,11	14,2	51,19	0,255	0,1	3,7
0	1,293	7,2	0,026	1,11	14,0	50,49	0,255	0,1	3,6
0	1,293	7	0,026	1,11	13,8	49,79	0,255	0,1	3,5
0	1,293	6,8	0,026	1,11	13,6	49,07	0,255	0,1	3,4
0	1,293	6,6	0,026	1,11	13,4	48,34	0,255	0,1	3,3
0	1,293	6,4	0,026	1,11	13,2	47,61	0,255	0,1	3,2
0	1,293	6,2	0,026	1,11	13,0	46,86	0,255	0,1	3,1
0	1,293	6	0,026	1,11	12,8	46,09	0,255	0,1	3
0	1,293	5,8	0,026	1,11	12,6	45,32	0,255	0,1	2,9
0	1,293	5,6	0,026	1,11	12,4	44,53	0,255	0,1	2,8
0	1,293	5,4	0,026	1,11	12,1	43,73	0,255	0,1	2,7
0	1,293	5,2	0,026	1,11	11,9	42,91	0,255	0,1	2,6
0	1,293	5	0,026	1,11	11,7	42,08	0,255	0,1	2,5
0	1,293	4,8	0,026	1,11	11,5	41,23	0,255	0,1	2,4
0	1,293	4,6	0,026	1,11	11,2	40,36	0,255	0,1	2,3
0	1,293	4,4	0,026	1,11	11,0	39,47	0,255	0,1	2,2
0	1,293	4,2	0,026	1,11	10,7	38,57	0,255	0,1	2,1
0	1,293	4	0,026	1,11	10,5	37,64	0,255	0,1	2
0	1,293	3,8	0,026	1,11	10,2	36,68	0,255	0,1	1,9
0	1,293	3,6	0,026	1,11	9,9	35,7	0,255	0,1	1,8
0	1,293	3,4	0,026	1,11	9,6	34,7	0,255	0,1	1,7
0	1,293	3,2	0,026	1,11	9,4	33,66	0,255	0,1	1,6
0	1,293	3	0,026	1,11	9,1	32,59	0,255	0,1	1,5
0	1,293	2,8	0,026	1,11	8,7	31,49	0,255	0,1	1,4
0	1,293	2,6	0,026	1,11	8,4	30,34	0,255	0,1	1,3
0	1,293	2,4	0,026	1,11	8,1	29,15	0,255	0,1	1,2
0	1,293	2,2	0,026	1,11	7,8	27,91	0,255	0,1	1,1
0	1,293	2	0,026	1,11	7,4	26,61	0,255	0,1	1
0	1,293	1,8	0,026	1,11	7,0	25,25	0,255	0,1	0,9
0	1,293	1,6	0,026	1,11	6,6	23,8	0,255	0,1	0,8
0	1,293	1,4	0,026	1,11	6,2	22,27	0,255	0,1	0,7
0	1,293	1,2	0,026	1,11	5,7	20,61	0,255	0,1	0,6
0	1,293	1	0,026	1,11	5,2	18,82	0,255	0,1	0,5
0	1,293	0,8	0,026	1,11	4,7	16,83	0,255	0,1	0,4
0	1,293	0,6	0,026	1,11	4,0	14,58	0,255	0,1	0,3
0	1,293	0,4	0,026	1,11	3,3	11,9	0,255	0,1	0,2
0	1,293	0,2	0,026	1,11	2,3	8,416	0,255	0,1	0,1
0	1,293	0	0,026	1,11	0,0	0	0,255	0,1	0

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,25 м² и температуры +20° С

t	(кг/м ^{ку})	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	H (м)	a (м)	F (Н)
0	1,205	8	0,026	1,11	15,3	55,13	0,255	0,1	4
0	1,205	7,8	0,026	1,11	15,1	54,44	0,255	0,1	3,9
0	1,205	7,6	0,026	1,11	14,9	53,74	0,255	0,1	3,8
0	1,205	7,4	0,026	1,11	14,7	53,03	0,255	0,1	3,7
0	1,205	7,2	0,026	1,11	14,5	52,31	0,255	0,1	3,6
0	1,205	7	0,026	1,11	14,3	51,57	0,255	0,1	3,5
0	1,205	6,8	0,026	1,11	14,1	50,83	0,255	0,1	3,4
0	1,205	6,6	0,026	1,11	13,9	50,08	0,255	0,1	3,3
0	1,205	6,4	0,026	1,11	13,7	49,31	0,255	0,1	3,2
0	1,205	6,2	0,026	1,11	13,5	48,54	0,255	0,1	3,1
0	1,205	6	0,026	1,11	13,3	47,75	0,255	0,1	3
0	1,205	5,8	0,026	1,11	13,0	46,95	0,255	0,1	2,9
0	1,205	5,6	0,026	1,11	12,8	46,13	0,255	0,1	2,8
0	1,205	5,4	0,026	1,11	12,6	45,3	0,255	0,1	2,7
0	1,205	5,2	0,026	1,11	12,3	44,45	0,255	0,1	2,6
0	1,205	5	0,026	1,11	12,1	43,59	0,255	0,1	2,5
0	1,205	4,8	0,026	1,11	11,9	42,71	0,255	0,1	2,4
0	1,205	4,6	0,026	1,11	11,6	41,81	0,255	0,1	2,3
0	1,205	4,4	0,026	1,11	11,4	40,89	0,255	0,1	2,2
0	1,205	4,2	0,026	1,11	11,1	39,95	0,255	0,1	2,1
0	1,205	4	0,026	1,11	10,8	38,99	0,255	0,1	2
0	1,205	3,8	0,026	1,11	10,6	38	0,255	0,1	1,9
0	1,205	3,6	0,026	1,11	10,3	36,99	0,255	0,1	1,8
0	1,205	3,4	0,026	1,11	10,0	35,94	0,255	0,1	1,7
0	1,205	3,2	0,026	1,11	9,7	34,87	0,255	0,1	1,6
0	1,205	3	0,026	1,11	9,4	33,76	0,255	0,1	1,5
0	1,205	2,8	0,026	1,11	9,1	32,62	0,255	0,1	1,4
0	1,205	2,6	0,026	1,11	8,7	31,43	0,255	0,1	1,3
0	1,205	2,4	0,026	1,11	8,4	30,2	0,255	0,1	1,2
0	1,205	2,2	0,026	1,11	8,0	28,91	0,255	0,1	1,1
0	1,205	2	0,026	1,11	7,7	27,57	0,255	0,1	1
0	1,205	1,8	0,026	1,11	7,3	26,15	0,255	0,1	0,9
0	1,205	1,6	0,026	1,11	6,8	24,66	0,255	0,1	0,8
0	1,205	1,4	0,026	1,11	6,4	23,06	0,255	0,1	0,7
0	1,205	1,2	0,026	1,11	5,9	21,35	0,255	0,1	0,6
0	1,205	1	0,026	1,11	5,4	19,49	0,255	0,1	0,5
0	1,205	0,8	0,026	1,11	4,8	17,44	0,255	0,1	0,4
0	1,205	0,6	0,026	1,11	4,2	15,1	0,255	0,1	0,3
0	1,205	0,4	0,026	1,11	3,4	12,33	0,255	0,1	0,2
0	1,205	0,2	0,026	1,11	2,4	8,718	0,255	0,1	0,1
0	1,205	0	0,026	1,11	0,0	0	0,255	0,1	0

Расчёт шкалы для пластины площадью 0,25 м² и температуры -20° С

t	(кг/м ку	F (Н)	S (м кв.)	Cx	Vв(м/с)	Vв(км/ч)	H (м)	a (м)	F (Н)
0	1,395	8	0,026	1,11	14,2	51,24	0,255	0,1	4
0	1,395	7,8	0,026	1,11	14,1	50,6	0,255	0,1	3,9
0	1,395	7,6	0,026	1,11	13,9	49,94	0,255	0,1	3,8
0	1,395	7,4	0,026	1,11	13,7	49,28	0,255	0,1	3,7
0	1,395	7,2	0,026	1,11	13,5	48,61	0,255	0,1	3,6
0	1,395	7	0,026	1,11	13,3	47,93	0,255	0,1	3,5
0	1,395	6,8	0,026	1,11	13,1	47,24	0,255	0,1	3,4
0	1,395	6,6	0,026	1,11	12,9	46,54	0,255	0,1	3,3
0	1,395	6,4	0,026	1,11	12,7	45,83	0,255	0,1	3,2
0	1,395	6,2	0,026	1,11	12,5	45,11	0,255	0,1	3,1
0	1,395	6	0,026	1,11	12,3	44,38	0,255	0,1	3
0	1,395	5,8	0,026	1,11	12,1	43,63	0,255	0,1	2,9
0	1,395	5,6	0,026	1,11	11,9	42,87	0,255	0,1	2,8
0	1,395	5,4	0,026	1,11	11,7	42,1	0,255	0,1	2,7
0	1,395	5,2	0,026	1,11	11,5	41,31	0,255	0,1	2,6
0	1,395	5	0,026	1,11	11,3	40,51	0,255	0,1	2,5
0	1,395	4,8	0,026	1,11	11,0	39,69	0,255	0,1	2,4
0	1,395	4,6	0,026	1,11	10,8	38,86	0,255	0,1	2,3
0	1,395	4,4	0,026	1,11	10,6	38	0,255	0,1	2,2
0	1,395	4,2	0,026	1,11	10,3	37,13	0,255	0,1	2,1
0	1,395	4	0,026	1,11	10,1	36,23	0,255	0,1	2
0	1,395	3,8	0,026	1,11	9,8	35,32	0,255	0,1	1,9
0	1,395	3,6	0,026	1,11	9,5	34,37	0,255	0,1	1,8
0	1,395	3,4	0,026	1,11	9,3	33,41	0,255	0,1	1,7
0	1,395	3,2	0,026	1,11	9,0	32,41	0,255	0,1	1,6
0	1,395	3	0,026	1,11	8,7	31,38	0,255	0,1	1,5
0	1,395	2,8	0,026	1,11	8,4	30,32	0,255	0,1	1,4
0	1,395	2,6	0,026	1,11	8,1	29,21	0,255	0,1	1,3
0	1,395	2,4	0,026	1,11	7,8	28,07	0,255	0,1	1,2
0	1,395	2,2	0,026	1,11	7,5	26,87	0,255	0,1	1,1
0	1,395	2	0,026	1,11	7,1	25,62	0,255	0,1	1
0	1,395	1,8	0,026	1,11	6,8	24,31	0,255	0,1	0,9
0	1,395	1,6	0,026	1,11	6,4	22,92	0,255	0,1	0,8
0	1,395	1,4	0,026	1,11	6,0	21,44	0,255	0,1	0,7
0	1,395	1,2	0,026	1,11	5,5	19,85	0,255	0,1	0,6
0	1,395	1	0,026	1,11	5,0	18,12	0,255	0,1	0,5
0	1,395	0,8	0,026	1,11	4,5	16,2	0,255	0,1	0,4
0	1,395	0,6	0,026	1,11	3,9	14,03	0,255	0,1	0,3
0	1,395	0,4	0,026	1,11	3,2	11,46	0,255	0,1	0,2
0	1,395	0,2	0,026	1,11	2,3	8,102	0,255	0,1	0,1
0	1,395	0	0,026	1,11	0,0	0	0,255	0,1	0