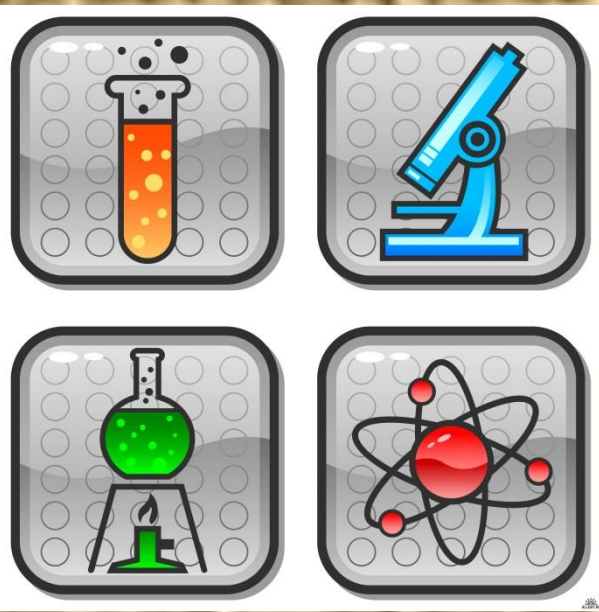




# Введение

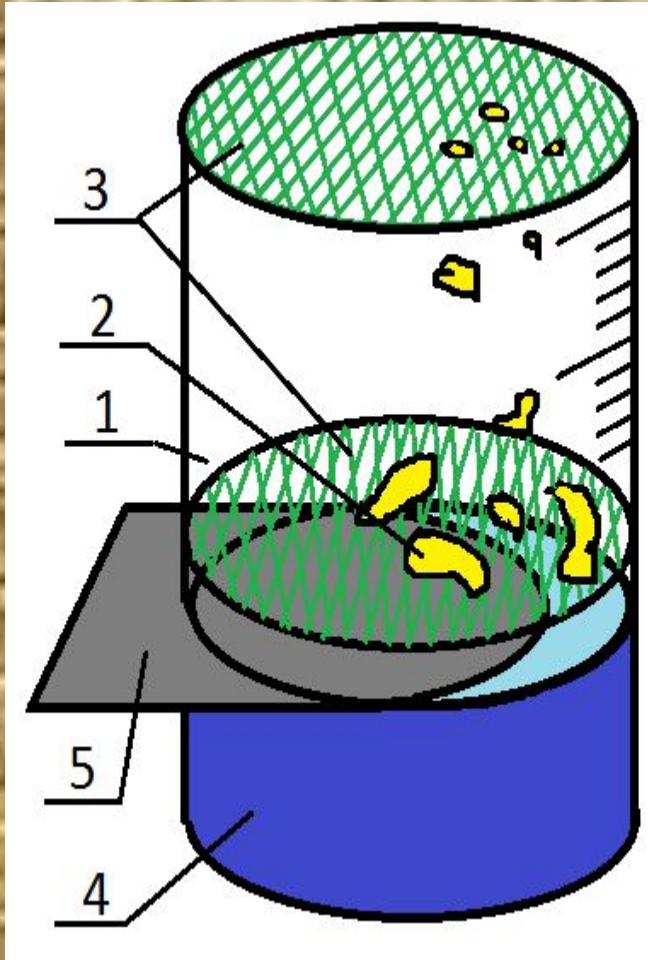
**Скоростью витания** частиц насыпного материала принято называть постоянную скорость свободного падения частицы в неподвижном воздушном пространстве или скорость восходящего воздушного потока, при которой данная частица будет находиться в этом потоке во взвешенном состоянии.

Скорость витания является главной аэродинамической характеристикой транспортируемых частиц материала.



# Экспериментальный способ определения скорости витания

Простейшая установка может состоять из вентилятора с вертикальной нагнетательной трубкой. На всасывающем патрубке должен быть шибер для регулирования расхода воздуха. Верхняя часть нагнетательной трубы выполняется из прозрачного материала (органического стекла) и снабжается двумя сетками нижней и верхней.



Через специальный люк исследуемые частицы укладывают на нижнюю сетку, а затем при помощи шибера постепенно увеличивают скорость воздуха до тех пор, пока частицы не приподнимутся с нижней сетки и будут находиться во взвешенном состоянии между сетками. Скорость воздуха в сечении прозрачной трубы, определяемая путем соответствующих замеров, и будет равна скорости витания данной частицы.



## Аналитический способ определения скорости витания

Этот способ менее точен в сравнении с предыдущим, т. к. невозможно учесть всех особенностей данных частиц (формы, шероховатости поверхности и т.д.).

- Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$v_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ).

Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $v_s$  по формуле

Частицы измельченной древесины (опилки, стружки, щепа), а также и других материалов разнообразны по форме и размерам.



[lori.ru/1834598](http://lori.ru/1834598)

- Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ).

Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73)

В. А. Успенский, Б. Н. Лобаев и др., заменяя частицу эквивалентным шаром, вводит, кроме того, поправки для учета формы, критерия Рейнольдса и стесненных условий. При этом результаты получаются более близкие к реальным.



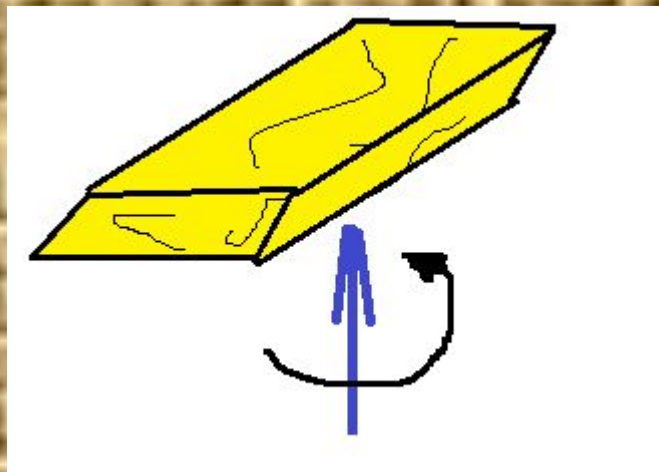


Эксперименты, проведенные в лаборатории пневматического транспорта ЛТА им. Кирова с древесными частицами самой разнообразной формы и размеров, позволили установить следующие закономерности:



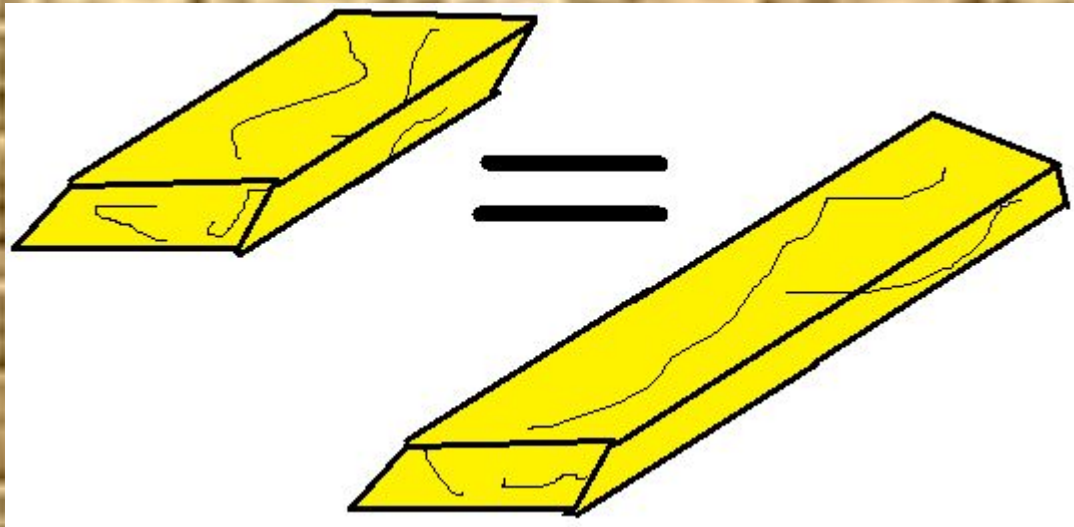
# 1

В восходящем воздушном потоке частицы, вращаясь относительно вертикальной оси, всегда располагаются своим наибольшим сечением (пластью) перпендикулярно направлению потока. Это подтверждает и В. А. Успенский [58], (стр. 35).



# 2

Длина частицы не оказывает заметного влияния на величину скорости витания. Частицы удлинённой формы с одинаковым поперечным сечением имеют одну и ту же скорость витания вне зависимости от длины.



# 3

Увеличение ширины частицы сказывается на изменении скорости витания только до определенного предела, а именно: пока ширина не достигнет двойной толщины частицы. При дальнейшем увеличении ширины скорость витания не изменяется. Это объясняется тем, что при небольшой ширине происходит вращение частицы относительно ее продольной оси и ее миделево сечение изменяется; при большой ширине это вращение прекращается и миделево сечение частицы остается неизменным.

Указанные положения дают основание сделать вывод, что основным параметром, определяющим скорость витания является толщина частиц. Это можно объяснить тем, что с увеличением толщины частицы увеличивается собственный вес, приходящийся на единицу площади ее сечения, перпендикулярного направлению воздушного потока.

Такие выводы дают возможность по иному рассмотреть вопрос определения скорости витания древесных частиц.

Вес частицы  
прямоугольного  
сечения  
определяются по  
формуле

Скорость витания частицы шаровой формы можно  
определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (**в среднем  $C = 0,4$** ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Сила воздействия  
воздушного потока на  
частицу,  
расположенную пластью  
перпендикулярно  
потоку, равна

Скорость витания частицы шаровой формы можно  
определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (**в среднем  $C = 0,4$** ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

# Так как мы рассматриваем частицу во взвешенном состоянии, то можно приравнять правые части написанных уравнений

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т.е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного), только в небольшом диапазоне при  $Re=2000-10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C=0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т.е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного), только в небольшом диапазоне при  $Re=2000-10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C=0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т.е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного), только в небольшом диапазоне при  $Re=2000-10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C=0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т.е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного), только в небольшом диапазоне при  $Re=2000-10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C=0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [Н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т.е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного), только в небольшом диапазоне при  $Re=2000-10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C=0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Подставляя это выражение в предыдущее уравнение, получим в окончательном виде эмпирическую формулу для определения скорости витания древесных частиц шаровой формы

Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

определяется по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).



Скорость витания частицы шаровой формы можно определить по формуле

$$v_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек,} \quad (73)$$

$d$  – диаметр шара, м;

$\gamma_M$  – объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  – объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$C$  – опытный коэффициент сопротивления шара.

Коэффициент сопротивления  $C$  для частиц шаровой формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса и шероховатости поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re \approx 2000 \div 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $C = 0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $v_s$  по формуле (73).

Далее таблице приведены результаты вычисления скорости витания (м/сек) для разных древесных частиц по различным источникам в сравнении с данными тщательно поставленных экспериментов (первая строчка). Как видно из таблицы, наиболее близкие значения дает формула (74).

# Таблица 1

определить по формуле

$$\vartheta_s = 3,62 \sqrt{\frac{d}{c}} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B} \text{ м/сек.} \quad (73)$$

$d$  — диаметр шара, м;

$\gamma_M$  — объемный вес материала частицы, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$\gamma_B$  — объемный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup> [н/м<sup>3</sup>];

$c$  — опытный коэффициент сопротивления течения шара.

Коэффициент сопротивления течения  $c$  для частиц шарообразной формы исследован экспериментально достаточно полно. Результаты этих исследований показали, что коэффициент сопротивления не остается постоянным и зависит от критерия Рейнольдса в шарообразности поверхности шара, т. е. от режима обтекания (ламинарного, турбулентного или переходного). Только в небольшом диапазоне при  $Re = 2000 \pm 10000$  он имеет более или менее постоянное значение (в среднем  $c = 0,4$ ). Указанное обстоятельство несколько усложняет определение  $\vartheta_s$  по формуле (73).

Расчетная формула и автор	Размеры частиц, мм			
	3×3×3	5×5×60	1,1×10×20	5×20×40
	$\gamma_M = 660 \text{ кгс/м}^3 [6470 \text{ н/м}^3]$	$\gamma_M = 660 \text{ кгс/м}^3 [6470 \text{ н/м}^3]$	$\gamma_M = 520 \text{ кгс/м}^3 [5100 \text{ н/м}^3]$	$\gamma_M = 660 \text{ кгс/м}^3 [6470 \text{ н/м}^3]$
Скорость витания, полученная экспериментальным путем	5,29	6,62	3,21	7,25
$\vartheta_s = 5,8 \sqrt{d_3 \frac{\gamma_M}{\gamma_B}}$ (В. Блесс)	8,3	16,25	10,5	19,05
$\vartheta_s = 5,8 \sqrt{0,284 d_3 \frac{\gamma_M}{\gamma_B}}$ (И. Гастерштадт)	7,62	14,9	9,6	17,6
$\vartheta_s = \sqrt{\frac{4gd_3(\gamma_M - \gamma_B)}{3c_2\gamma_B K_\phi}} \left[1 - \frac{d_3}{D}\right]$ (В. А. Успенский)	4,5	7,62	3,92	7,0
По монограмме Б. Н. Лобаева	4,9	9,0	5,0	8,9
$\vartheta_s = 0,14 \sqrt{\frac{\gamma_M}{(0,02 + \frac{a}{h})\gamma_B}}$ (Т. Н. Илиев, С. Н. Святков)	5,27	6,71	3,19	7,35

Список используемых источников:

- 1 С. Н. Святков, " Пневматический транспорт измельченной древесины " [Текст] / Святков С. Н. – М. : Лесная промышленность, 1966. – 318 с.
- 2 С. Н. Святков, " Внутризаводской транспорт (учебное пособие) " [Текст] / Святков С. Н. – Л. : Ленинградская Ордена Ленина Тех. Ак. Им. С. М. Кирова, 1965. – 158 с.