



АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аэродинамические свойства

характеризуют

поведение частиц в **воздушном** потоке.

Парусный классификатор для изучения аэродинамических свойств сельскохозяйственных материалов



Основными показателями, характеризующими аэродинамические свойства материала, являются:

критическая скорость $V_{кр}$,
коэффициент K сопротивления воздуха,
коэффициент K_{π} парусности.

На частицу, находящуюся в **вертикальном воздушном потоке**, действуют **сила тяжести G** и **сила воздушного потока R** , направленные в противоположные стороны. Последняя может быть определена по **формуле Ньютона**

$$R = K\gamma F(V - U)^2,$$

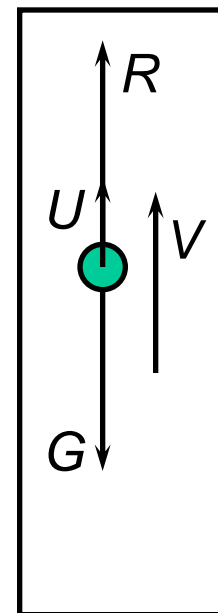
где K – коэффициент сопротивления воздуха;

γ – плотность воздуха ($1,2 \text{ кг/м}^3$ при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 10,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$);

F – «**миделево сечение**» частицы, т. е. площадь ее проекции на плоскость, перпендикулярную воздушному потоку;

V – скорость воздушного потока;

U – скорость частицы.

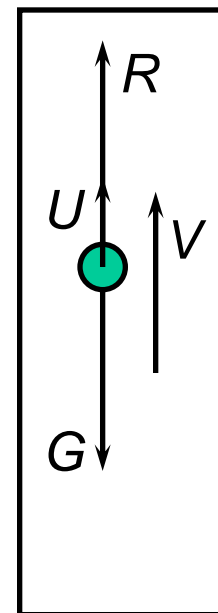


Если $G > R$ частица будет двигаться **вниз**, если $G < R$ она будет двигаться **вверх**. При $G = R$ частица будет находиться во **взвешенном состоянии**, т. е. $U = 0$.

Скорость вертикального воздушного потока, при которой частица находится во **взвешенном состоянии**, называют **критической скоростью** $V_{кр}$ или скоростью витания.

Из формулы Ньютона при $G = R$
$$V_{кр} = \sqrt{\frac{G}{K\gamma F}}$$

Коэффициент сопротивления воздуха K и «миделево сечение» частицы определить сложно, поэтому **критическую скорость** определяют **экспериментально** на **парусных классификаторах**, а затем по $V_{кр}$ рассчитывают коэффициенты K и K_{π} .



Тогда из формулы Ньютона при $G = R$ и $U = 0$

имеем $G = K\gamma F V_{кр}^2$ или $K = \frac{G}{\gamma F V_{кр}^2}$.

Если зерно имеет **длину** a , **ширину** b и **толщину** c , то его **средний геометрический** размер l и «миделево сечение» F равны

$$l = \sqrt[3]{abc}; \quad F = l^2.$$

Тогда $K = \frac{G}{\gamma F V_{кр}^2} = \frac{mg}{\gamma F V_{кр}^2} = \frac{l^3 \gamma_z g}{\gamma l^2 V_{кр}^2} = \frac{l \gamma_z g}{\gamma V_{кр}^2}$.

Для определения **коэффициента парусности** выразим из той же формулы ускорение свободного падения

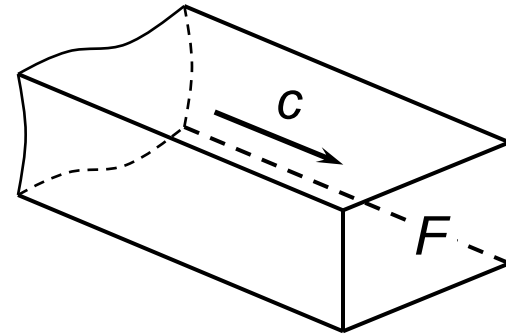
$$g = \frac{G}{m} = \frac{K\gamma F}{m} V_{кр}^2 = K_{п} V_{кр}^2, \quad \text{где} \quad K_{п} = \frac{K\gamma F}{m}.$$

Тогда $K_{п} = \frac{g}{V_{кр}^2}$.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Основными параметрами, характеризующими воздушный поток, создаваемый вентилятором, являются:

расход,
давление,
мощность.



Различают **объемный** V (м³/с) и **массовый** Q (кг/с) расход воздуха.

Объемный расход V воздуха зависит от **скорости** воздушного потока c (м/с) и **площади** поперечного сечения воздухопровода F (м²)

$$V = cF.$$

Массовый расход Q воздуха связан с **объемным** V через **плотность** воздуха γ (1,2 кг/м³ при $t = 20^\circ\text{C}$ и $P = 10,3 \cdot 10^4$ Н/м²);

$$Q = \gamma V.$$

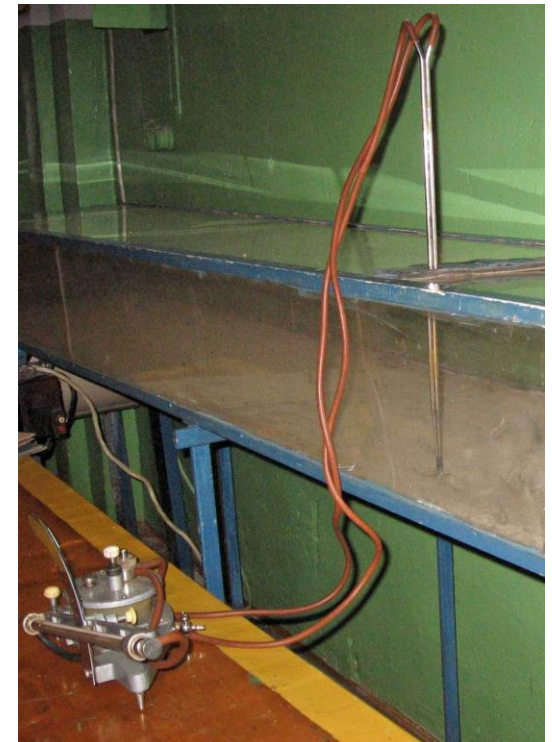
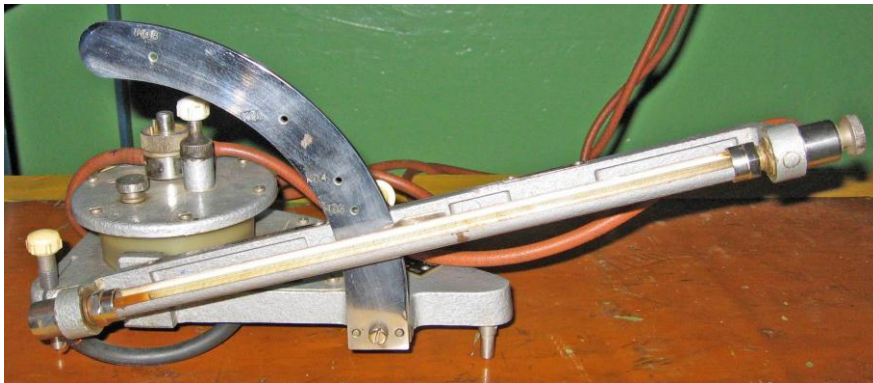
Создаваемое вентилятором **полное** давление H расходуется на **сообщение** воздуху **скорости** (**динамическое** давление h_d) и на **преодоление сопротивлений** в сети (**статическое** давление h_s).

Динамическое давление определяется **кинетической энергией единицы объема** (одного кубического метра) воздуха

$$h_d = \frac{mc^2}{2} = \frac{\gamma c^2}{2}, \quad \text{так как масса } 1 \text{ м}^3 \text{ воздуха } m = \gamma.$$

Тогда скорость воздуха $c = \sqrt{\frac{2}{\gamma} h_d} = 1,28 \sqrt{h_d}.$

Динамическое давление измеряют с помощью микроманометра и трубки Пито.



Статическое давление **зависит от сопротивлений**, возникающих при движении воздушного потока (в вентиляторе, на трение воздуха о стенки канала, на изгибы и сужения канала, на заслонки, сетки, решета и т.д.) и **пропорционально динамическому** давлению

$$h_s = (\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \dots + \psi_n) \cdot h_d,$$

где ψ – коэффициенты местных сопротивлений.

Из-за сложности теоретических расчетов h_s при выборе вентиляторов указанные сопротивления оценивают по аналогии с подобными воздушными системами.

Полное давление $H = h_d + h_s$.

Соотношение единиц давления

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ м в. ст.} = 1 \text{ кг/см}^2 = 100000 \text{ Н/м}^2 = 100000 \text{ Па}$$

Мощность воздушного потока $N = VH$. $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Нм}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт} \right)$

ТИПЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Основные элементы **воздушных систем** сельскохозяйственных машин:

источники воздушного потока – **вентиляторы**;
воздушные каналы, направляющие воздушный поток и примеси;
осадочные камеры и пылеуловители, очищающие воздушный поток от примесей.

По создаваемому **давлению** вентиляторы делят на три группы:
низкого ($H < 1000$ Па), **среднего** ($1000 < H < 3000$ Па) и
высокого ($H > 3000$ Па) давления.

В **зерноочистительных** устройствах применяют вентиляторы **низкого** давления, в пневматических **транспортирующих** устройствах – **среднего** и **высокого** давления.

По **конструкции** различают:
центробежные, **диаметральные** и **осевые** вентиляторы.

Центробежный вентилятор состоит из **рабочего колеса** и **спиралеобразного кожуха**.

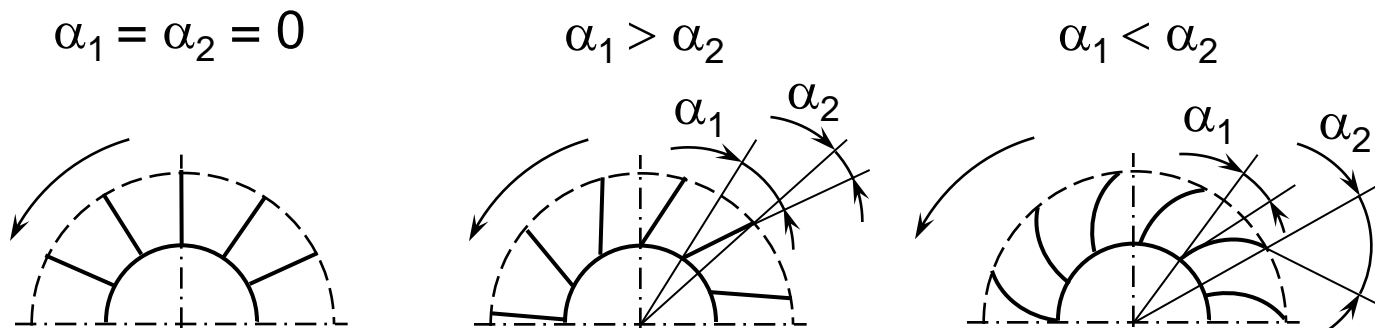
Забор воздуха происходит через входные (боковые) окна, расположенные по торцам вала рабочего колеса.

Под действием центробежных сил воздух отбрасывается к цилиндрической части кожуха и выталкивается через выходное окно.



В зависимости от **формы** профиля бывают **прямолинейные** и **криволинейные** лопасти рабочего колеса.

Прямолинейные лопасти бывают **радиальные** и **отогнутые назад**.



В **сельскохозяйственных** машинах обычно ставят вентиляторы с **прямолинейными отогнутыми** назад лопастями, которые обеспечивают **низкое** или **среднее** давление при большом расходе.



Криволинейные лопасти бывают **отогнутые назад** и **отогнутые вперед**. Последние обеспечивают большее давление, чем другие.

Диаметральный вентилятор состоит из **рабочего колеса** с **криволинейными**, загнутыми в сторону вращения, **лопастями** и **корпуса**, который охватывает колесо в зоне угла $200...220^\circ$ и образует выходную горловину.

Лопастями захватывают воздух в зоне A и прогоняют его в полость колеса B , откуда под действием центробежных сил он нагнетается в зону выходного канала C .



Достоинства:

меньше **габариты**;

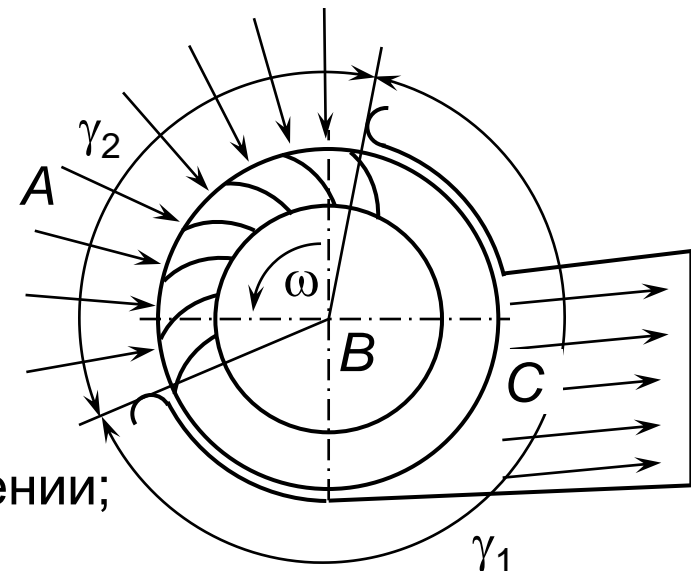
выше **равномерность** потока по ширине.

Недостатки:

сложнее по конструкции;

требуют высокой **точности** при изготовлении;

выше по **энергоёмкости**.



Осевой вентилятор имеет **рабочее колесо**, установленное в **корпусе**, засасывает и **нагнетают** воздух **в направлении оси** вращения лопастного колеса.

Осевые вентиляторы создают **меньшее давление**, чем центробежные и диаметральные. Динамическое давление осевых вентиляторов составляет основную долю полного давления.

Применяют в основном для **проветривания** зернохранилищ, складских и других помещений.



ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ

К **параметрам**, характеризующим **вентилятор** и его **работу** относят:

b , r и n – соответственно **ширину**, **радиус** и **частоту вращения** рабочего колеса вентилятора;

V , H , N – основные параметры воздушного потока, создаваемого вентилятором (**расход**, **давление**, **мощность**);

α , β – **угловые** параметры лопастей рабочего колеса.

В результате исследований установлены следующие соотношения:

$$\frac{V}{br^2n} = f_1(\alpha, \beta)$$

$$\frac{H}{r^2n^2} = f_2(\alpha, \beta)$$

$$\frac{N}{br^4n^3} = f_3(\alpha, \beta)$$

где $f_i(\alpha, \beta)$ – функции от угловых параметров лопастей.

Поскольку **для одного и того же** вентилятора **ширина** и **радиус** рабочего колеса, а также **угловые** параметры его лопастей являются **постоянными**, то

$$\frac{V}{n} = const; \quad \frac{H}{n^2} = const; \quad \frac{N}{n^3} = const,$$

т. е. **расход** воздуха пропорционален **частоте** вращения n рабочего колеса;

давление пропорционально **квадрату частоты** вращения n ;

мощность – **кубу частоты** вращения n .

Таким образом, для **двух различных режимов** работы **одного и того же вентилятора** справедливы соотношения

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}; \quad \frac{H_1}{n_1^2} = \frac{H_2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{n_1^3} = \frac{N_2}{n_2^3}.$$

Полученные выражения используют, чтобы рассчитать **параметры** воздушного потока (V' , H' , N'), который будет создан вентилятором **при частоте** вращения рабочего колеса **1000 об/мин** по значениям этих параметров (V , H , N) при любой другой частоте вращения n

$$\frac{V'}{10^3} = \frac{V}{n}; \quad \frac{H'}{10^6} = \frac{H}{n^2}; \quad \frac{N'}{10^9} = \frac{N}{n^3}.$$

$$V' = \frac{V}{n} 10^3; \quad H' = \frac{H}{n^2} 10^6; \quad N' = \frac{N}{n^3} 10^9.$$

Пример: при частоте вращения $n = 700$ об/мин параметры воздушного потока равны: $V = 2$ м³/с, $H = 40$ Н/м², $N = 80$ Вт.

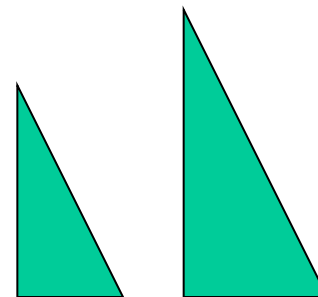
Тогда при частоте вращения $n = 1000$ об/мин параметры воздушного потока будут составлять

$$V' = \frac{2}{700} 10^3 = 2,86 \text{ м}^3/\text{с}; \quad H' = \frac{40}{700^2} 10^6 = 81,6 \text{ Н/м}^2;$$

$$N' = \frac{80}{700^3} 10^9 = 233 \text{ Вт.}$$

Основные соотношения параметров используют при подборе или проектировании вентиляторов по методу механического подобия.

В **подобных** вентиляторах, как и в геометрически подобных телах, **линейные** размеры **пропорциональны**, а **угловые** – **равны**.



Тогда **для подобных** вентиляторов первоначальные соотношения будут иметь вид

$$\frac{V}{br^2n} = const; \quad \frac{H}{r^2n^2} = const; \quad \frac{N}{br^4n^3} = const.$$

Для двух подобных вентиляторов 1 и 2

$$\frac{V_1}{b_1 r_1^2 n_1} = \frac{V_2}{b_2 r_2^2 n_2}; \quad \frac{H_1}{r_1^2 n_1^2} = \frac{H_2}{r_2^2 n_2^2}; \quad \frac{N_1}{b_1 r_1^4 n_1^3} = \frac{N_2}{b_2 r_2^4 n_2^3},$$

или

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{b_1 r_1^2 n_1}{b_2 r_2^2 n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{r_1^2 n_1^2}{r_2^2 n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{b_1 r_1^4 n_1^3}{b_2 r_2^4 n_2^3}.$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{b_1 r_1^2 n_1}{b_2 r_2^2 n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{r_1^2 n_1^2}{r_2^2 n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{b_1 r_1^4 n_1^3}{b_2 r_2^4 n_2^3}.$$

Полученные выражения **для приведенных** к 1000 об/мин параметров будут иметь вид

$$\frac{V_1'}{V_2'} = \frac{b_1 r_1^2}{b_2 r_2^2} = A_V; \quad \frac{H_1'}{H_2'} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = A_H; \quad \frac{N_1'}{N_2'} = \frac{b_1 r_1^4}{b_2 r_2^4} = A_N,$$

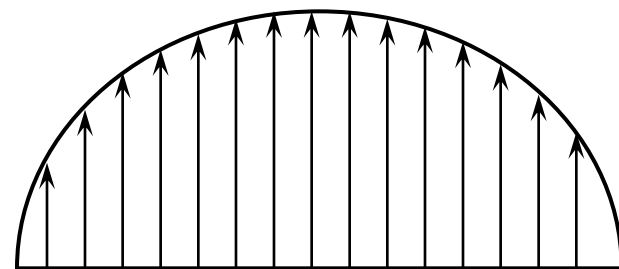
где A_V , A_H , A_N – постоянные расхода, давления и мощности, сохраняющие для рассматриваемых подобных вентиляторов одно и то же значение.

Полученные выражения используют для определения основных конструктивных параметров при подборе вентиляторов.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Для оценки вентиляторов используют **количественные** и **качественные** характеристики.

Качественная характеристика вентилятора обычно представляет собой **эпюру скоростей** в выходном канале или **график** изменения **скоростей** потока воздуха по сечениям. По ней судят о равномерности создаваемого воздушного потока.



Количественные характеристики могут быть **размерными** и **безразмерными**.

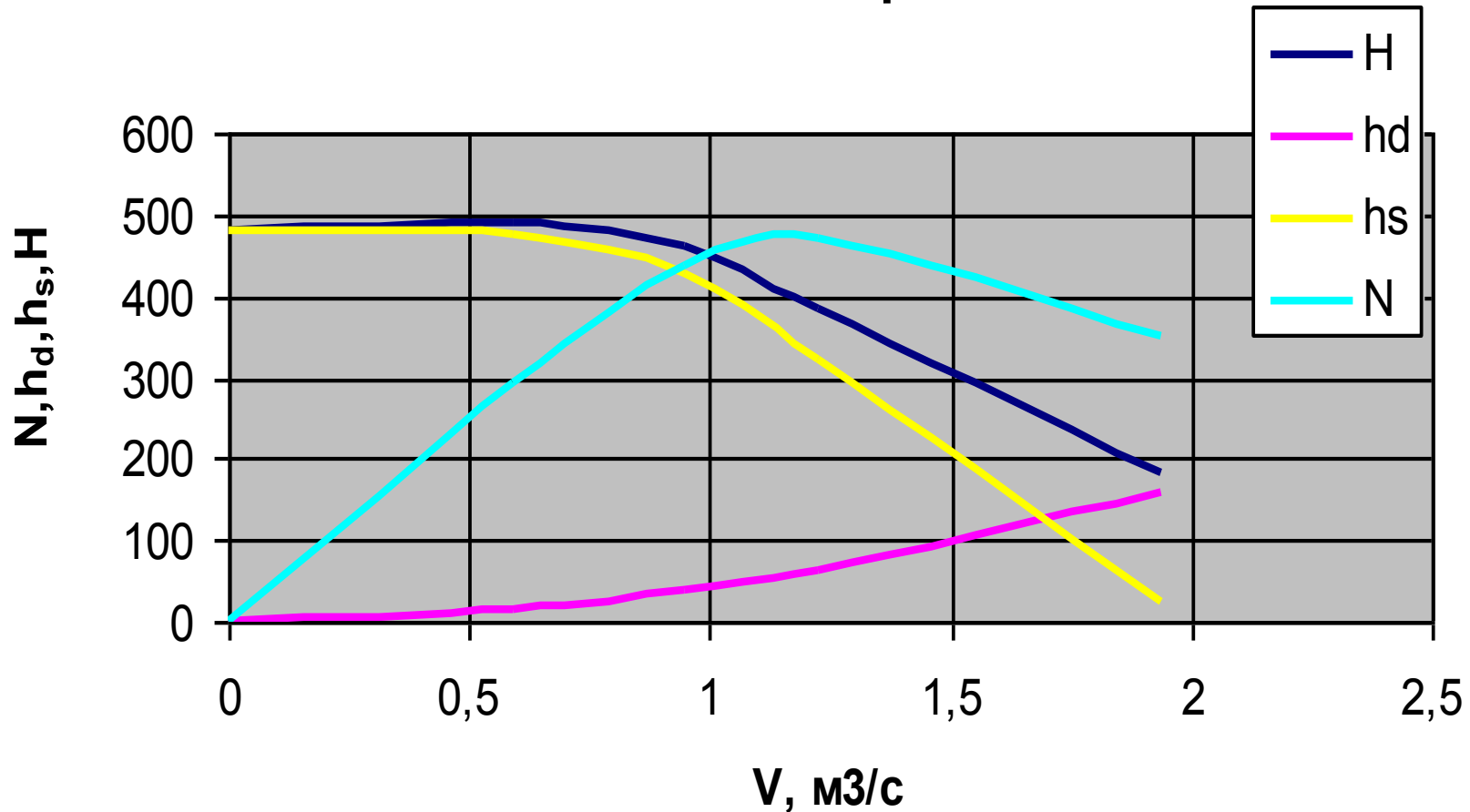
Размерной характеристикой называют **графическую зависимость** динамического h_d , статического h_s и полного H **давлений, мощности** воздушного потока N и коэффициента полезного действия η ($\eta = N/N_{\text{пр}}$, где $N_{\text{пр}}$ – мощность на привод вентилятора) **от расхода** воздуха V .

Общий вид установки для снятия характеристики вентилятора



n , об/ мин	H , Па	h_d , Па	h_s , Па	C , м/с	V , м ³ /с	N , Вт	H' , Па	h_d' , Па	h_s' , Па	V' , м ³ /с	N' , Вт	K
995	478	0	478	0	0	0	483	0	483	0	0	0
990	489	14,7	475	5,0	0,6	291	499	15,0	484	0,6	299	0,1
985	462	37,3	424	7,9	0,9	437	476	38,5	437	1,0	457	0,2
980	384	62,9	321	10,2	1,2	472	400	65,5	335	1,3	501	0,4
975	180	157	23	16,2	1,9	350	190	165	24,8	2,0	378	0,9

Размерная количественная характеристика вентилятора



Размерная характеристика может быть использована при оценке только того вентилятора, для которого она получена.

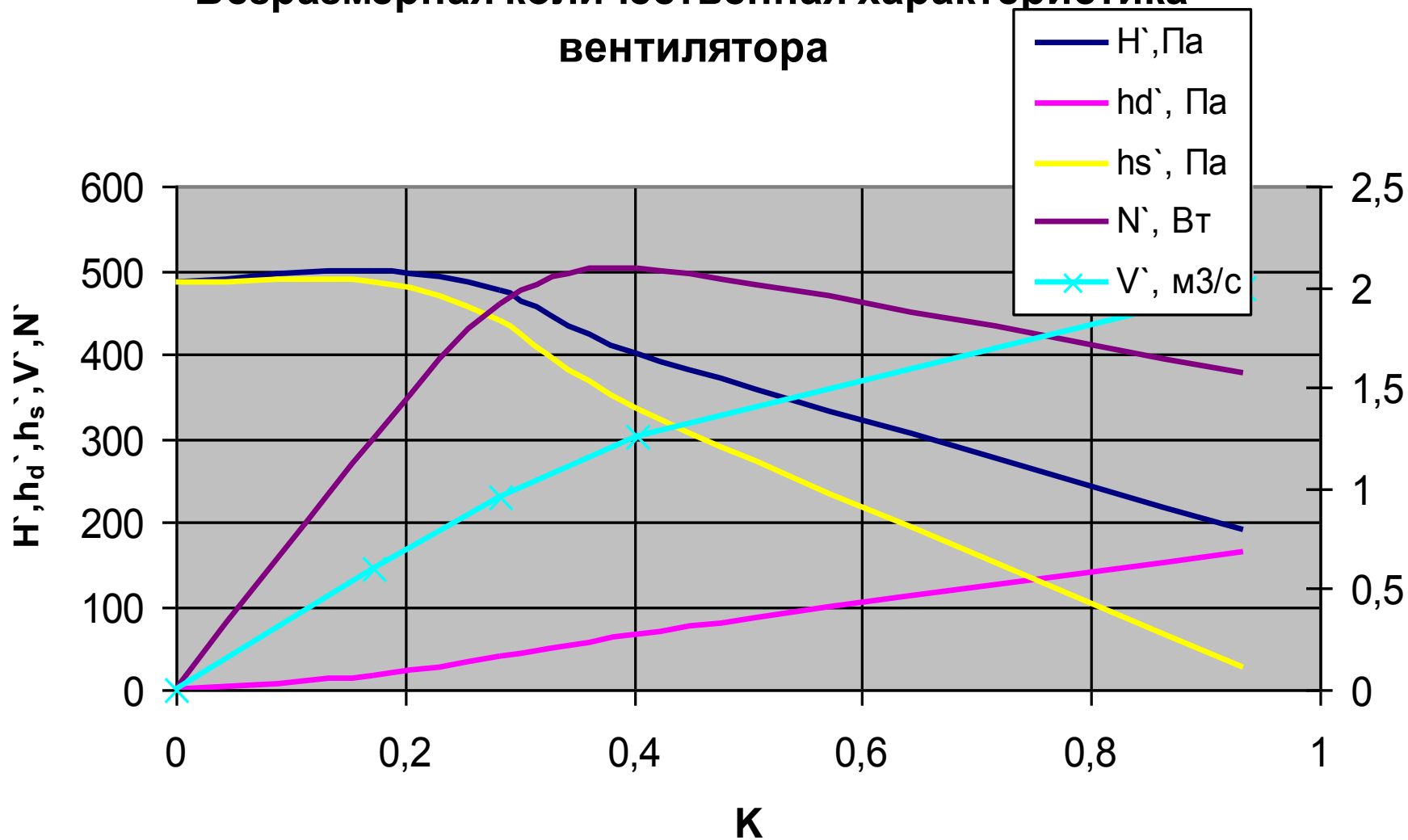
Безразмерная характеристика представляет собой **графическую зависимость приведенных к 1000** об/мин **расхода** воздуха V' , динамического h_d' , статического h_s' и полного **давлений** H' , **мощности** воздушного потока N' и к. п. д. η **от показателя режима работы** вентилятора k .

Показатель режима работы k определяют по зависимости

$$k = \sqrt{\frac{h_d}{h_d + h_s}}.$$

Показатель режима работы вентилятора характеризует **энергонасыщенность** воздушного потока.

Безразмерная количественная характеристика вентилятора



Безразмерную характеристику используют при подборе необходимого вентилятора, подобного данному.

ТИПЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

Общий вид пневмотранспортной установки



Преимущества пневмотранспортных установок по сравнению с другими транспортными устройствами состоят в следующем:

- **простота** конструкции;
- **надежность** в работе;
- **удобство** в обслуживании;
- возможность **перемещения любых грузов** (пылевидных, сыпучих, волокнистых, штучных, жидких) на большие расстояния по любой трассе;
- **минимальные потери** перемещаемого материала;
- возможность **осуществления** при транспортировании **попутных операций** (сушка, охлаждение, нагрев, разделение на фракции, смешивание);
- более **гигиеничные** и **безопасные условия** труда;
- возможность **автоматизации** процесса управления работой установок.

По **способу перемещения** материала различают:

- пневмотранспортные установки, перемещающие материал по **методу летящих частиц**;
- **аэрожелоба**.

Пневмотранспортные установки, перемещающие материал по **методу летящих частиц**, бывают:

- **всасывающие**;
- **нагнетательные**;
- **всасывающе-нагнетательные**.

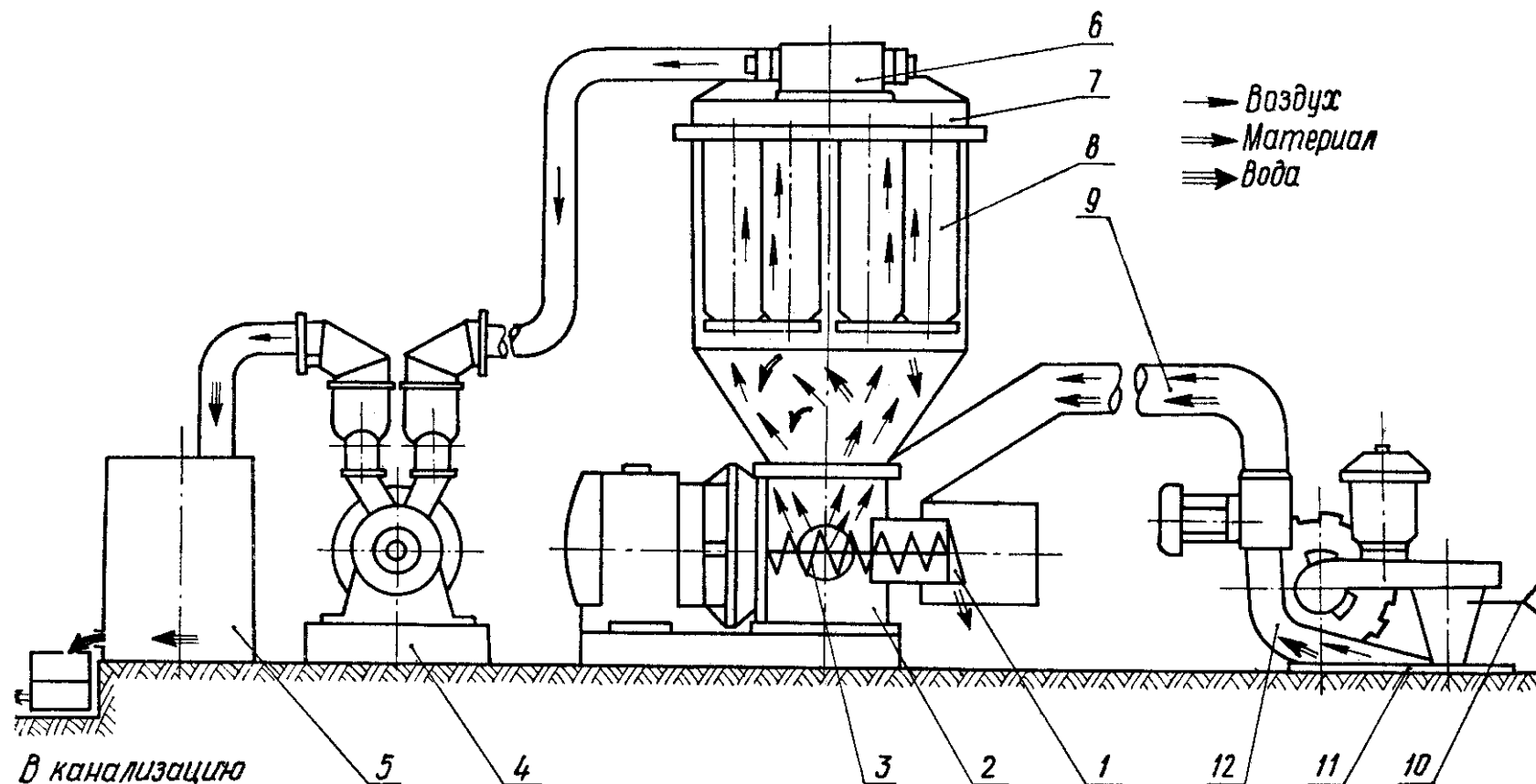
Аэрожелоба бывают:

- **аэрогравитационные**;
- **аэродинамические**.

Скорость воздуха, скорость материала, удельный расход энергии у аэрожелобов **меньше**, а **концентрация материала** в потоке воздуха в **выше**, чем у пневмотранспортных установок с летящими частицами.

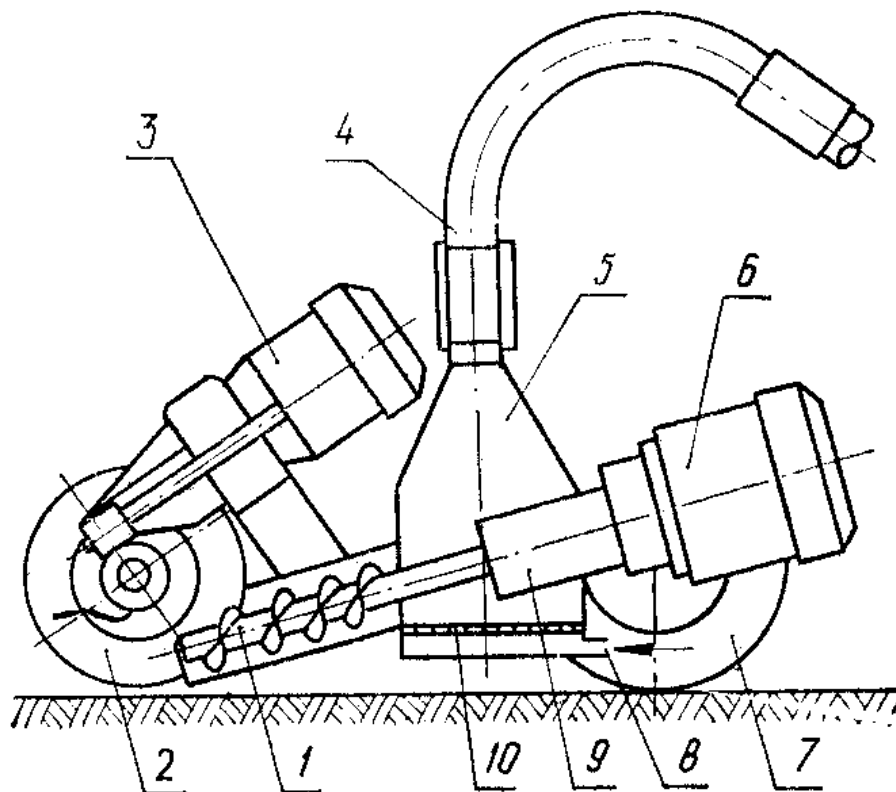
Установка **всасывающего** действия включает **заборное устройство** (всасывающее сопло с рушителями и загребающими дисками), **осадочную камеру** с фильтрами, **выгрузной шнек** с обратным клапаном, **вакуум-насос**, воздухо- и материалопроводы.

Производительность – до 90 т/ч; дальность транспортирования – до 16 м; рабочий вакуум – $0,5 \dots 0,8 \cdot 10^5$ Па; мощность – 50...100 кВт.



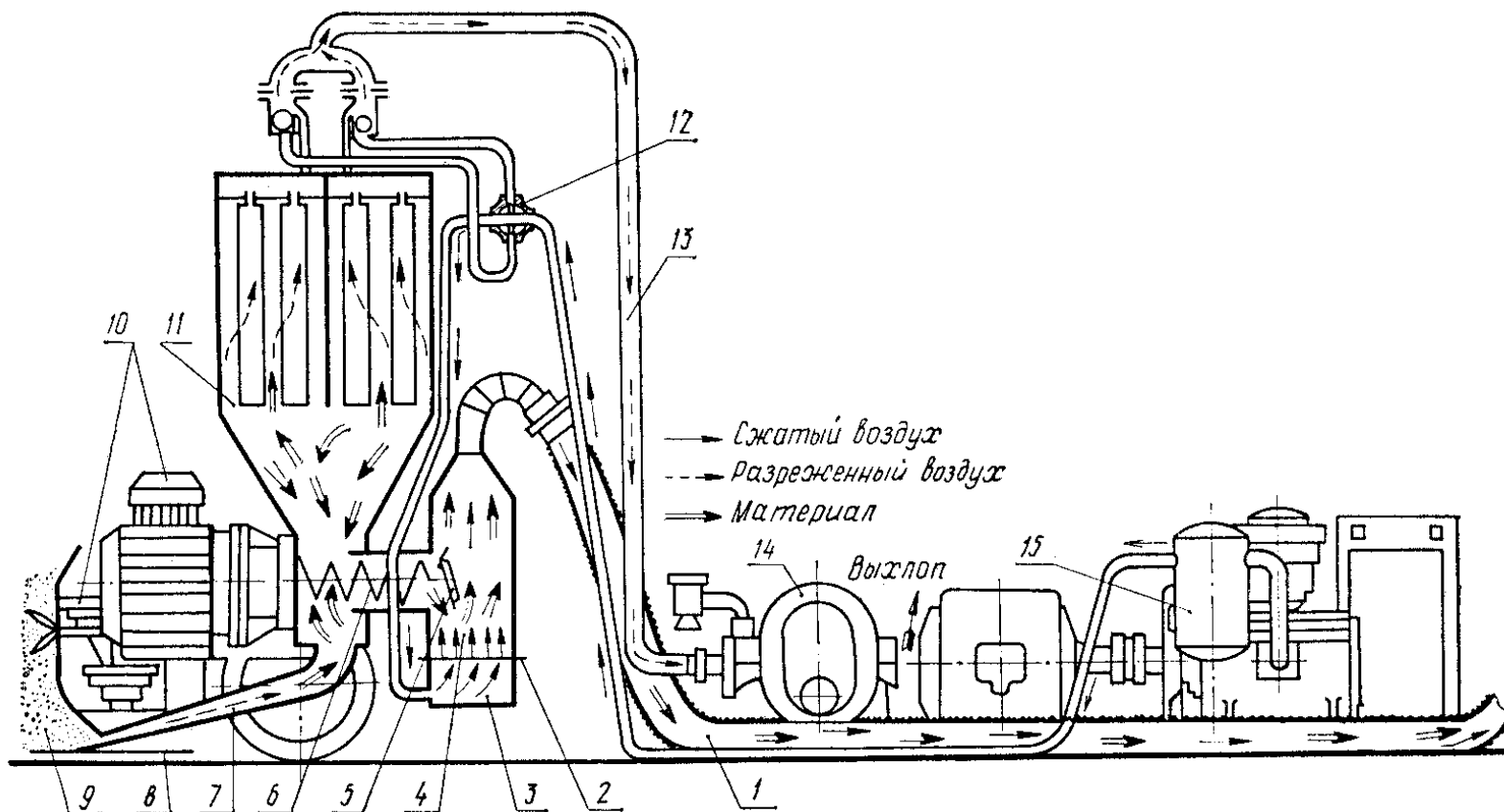
Установка **нагнетательного** действия включает подгребающие и загрузочный **шнеки**, **камеру аэрации** с пористой перегородкой, **компрессор**, воздухо- и материалопровод.

Производительность – 30 т/ч; дальность транспортирования – 8 м; избыточное давление – $0,8 \cdot 10^5$ Па; мощность – 15 кВт.



Установка **всасывающе-нагнетательного** действия включает **заборное устройство, вакуум-насос, осадочную камеру** с фильтрами и шнеком, **компрессорную станцию, камеру аэрации** с пористой перегородкой, воздухо- и материалопроводы.

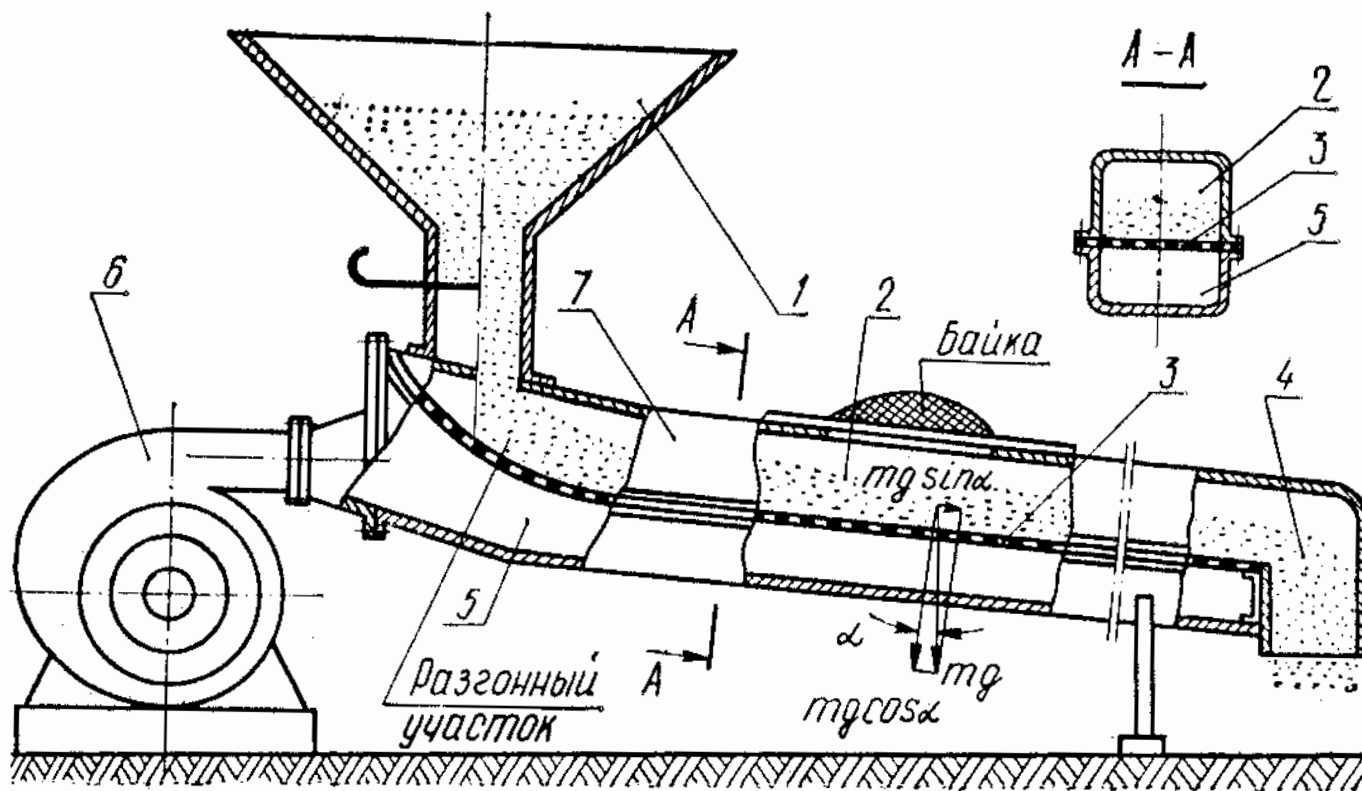
Производительность – 20...50 т/ч; дальность транспортирования – 40...50 м; избыточное давление – $1,2...1,5 \cdot 10^5$ Па; установленная мощность – 30...60 кВт.



Аэрогравитационные аэрожелоба представляют собой наклоненный ($2...3^\circ$) **трубопровод** (дерево, сталь) прямоугольного сечения с загрузочной **воронкой** и **пористой перегородкой** (брезент).

Псевдосжиженный воздушным потоком материал перемещается **под действием собственной массы**.

Производительность – до 40 т/ч; длина – до 45 м; ширина – 250 мм; высота – 200 мм; скорость транспортирования – до 4 м/с.



Аэродинамические аэрожелоба имеют **рассекатели** (из бетона, дерева) высотой 600...1000 мм и углом наклона стенок 40...45°, прямоугольные **каналы** шириной 180...250 мм с металлическими **перегородками**, имеющими щели, направленные в сторону перемещения частиц, **выгрузной транспортер**. Коэффициент живого сечения – 1,5...3,5 %.

Аэрожелоба, устроенные в зерноскладах, могут быть использованы для **вентиляции**, **сушки** и **выгрузки** зерна из закромов.

Для желоба шириной 180...250 мм, длиной 10 м с углом наклона 3° при давлении воздуха 1500 Па и расходе воздуха 3,3 м³/с производительность на ячмене влажностью 16 % достигает 7 кг/с (25 т/ч).

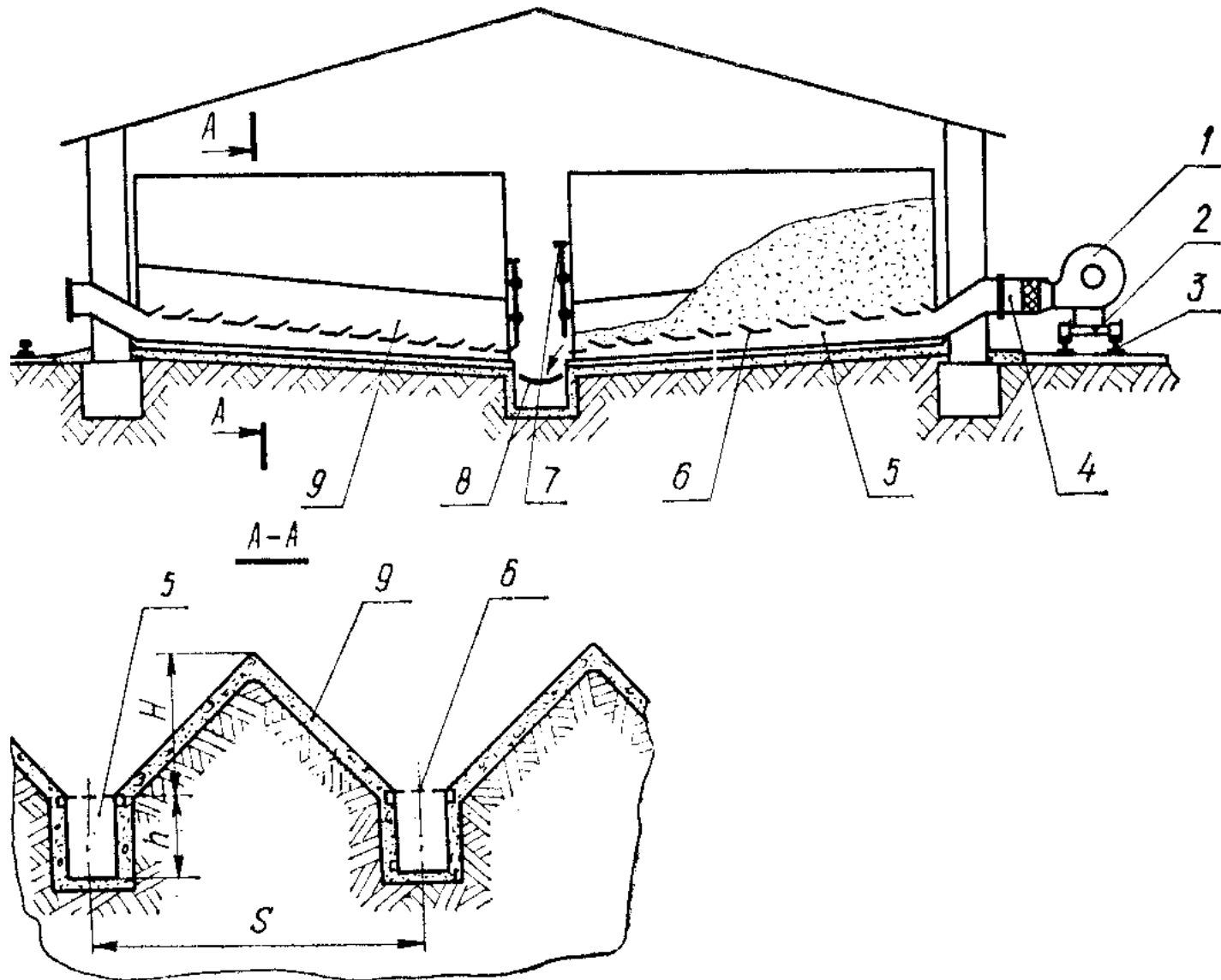


Схема продольного разреза аэрожелоба, смонтированного в закромах зерносклада:

1 — вентилятор; 2 — тележка; 3 — путь рельсовый; 4 — нагнетательный патрубок вентилятора; 5 — канал воздушный; 6 — перегородка; 7 — задвижка; 8 — транспортер продольный; 9 — рассекатели.