

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С УЧЁТОМ АНАЛИЗА УСТРОЙСТВ СМЕСИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

nefact@mail.ru

В статье приведен математический аппарат для определения производительности пневмосмесителя для производства сухих строительных смесей с учётом анализа устройств смесительных агрегатов. Установлено, что использование пневмосмесителя обеспечивает непрерывное производство с гарантированным качеством сухих строительных смесей.

**Ключевые слова:** производительность, пневмосмеситель, смесь, качество.

Производство современных строительных материалов предъявляет особые требования к используемому смесительному оборудованию. От качества получаемой смеси, главным образом, от их однородности и производительности напрямую зависят потребительские свойства производимых из них изделий.

Повышение требований к однородности и производительности смесей вызывает необходимость создания новых конструкций смесителей, которые необходимо осуществлять на базе внедрения прогрессивных технологий и оборудования для их реализации [1].

Широкое распространение и применение не только в нашей стране, но и за рубежом получили лопастные смесители (рис. 1). В лопастных смесителях сыпучие строительные смеси перемешиваются лопастями, закрепленными, как правило, на горизонтальном валу. Лопастные смесители бывают непрерывного и периодического действия.

В лопастных смесителях непрерывного действия лопасти закрепляются на валу по винтовой линии, что обеспечивает одновременное перемешивание и перемещение продукта вдоль вала. Однако, вследствие небольшой скорости

вращения смесительных валов ( $n=10-15 \text{ мин}^{-1}$ ) процесс смешения в аппаратах с вращающимися лопастными рабочими органами относительно продолжителен. К недостаткам следует отнести: невысокое качество смешения, длительность цикла, высокие энергозатраты.

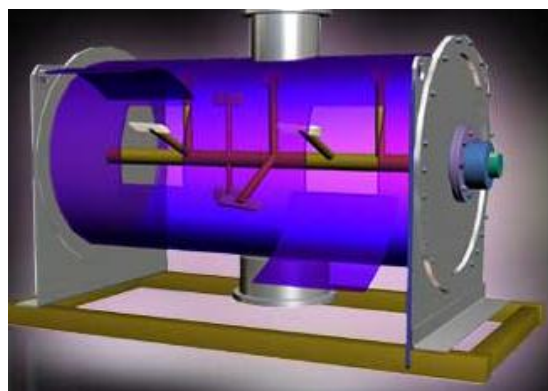


Рисунок 1. Лопастной смеситель

Схема смесителя непрерывного действия GCM500, выпускаемого компанией GERICKE, Швейцария, и его основные размеры показаны на рис. 2.

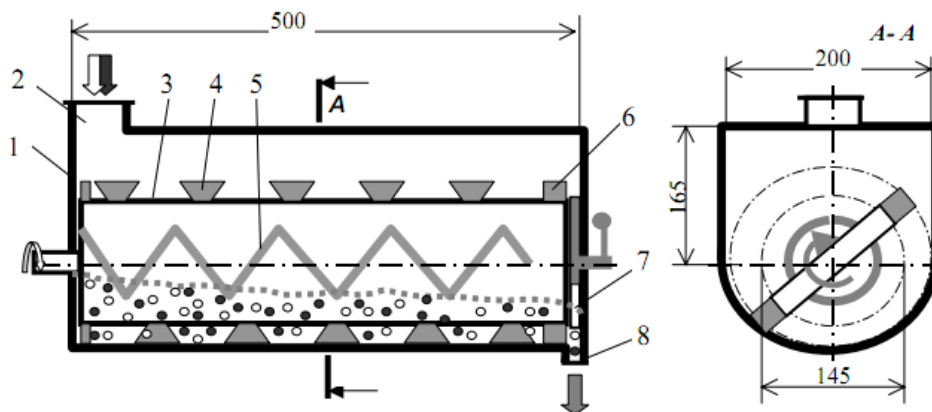


Рисунок 2. Схема и основные размеры смесителя GCM500 компании Gericke:

1- корпус; 2- патрубок загрузочный; 3- рамка; 4- лопасти; 5- спираль; 6- лопасти разгрузочные; 7- устройство разгрузочное; 8 – патрубок разгрузочный

Традиционное использование червячно - лопастных смесителей при изготовлении новых композиционных материалов, сухих строительных смесей не удовлетворяет современным требованиям, поскольку серийно выпускаемые смесители не способны эффективно смешивать компоненты или делают это с большими затратами энергии и времени [2].

На основании анализа существующих типов смесительного оборудования можно сделать вывод о том, что перспективными направлениями при производстве сухих строительных материалов являются разработки специализированного оборудования, обладающего малыми энергозатратами, невысокой стоимостью оборудования, простотой обслуживания, надежностью и высокой производительностью.

Пневмосмеситель непрерывного действия (рис. 3) для производства сухих строительных

смесей позволяет повысить степень гомогенизации смеси и обеспечить непрерывное производство сухих строительных смесей с гарантированным качеством [3]. Сопоставительный анализ, проведенный на основе имеющихся источников, позволяет сделать вывод, что для производства сухих строительных смесей необходимо использовать смесители непрерывного действия.

Во – первых повышение качества однородности смеси возможно достичь лишь в новых конструкциях смесителей. Во – вторых непрерывность производственного процесса не требуют применять дорогостоящее оборудование для регулирования цикла производства. Кроме того, пневмосмеситель обеспечивает достаточное давление готовой смеси, для того чтобы отказать в технологической линии от использования перемещающую готовую смесь шнека.

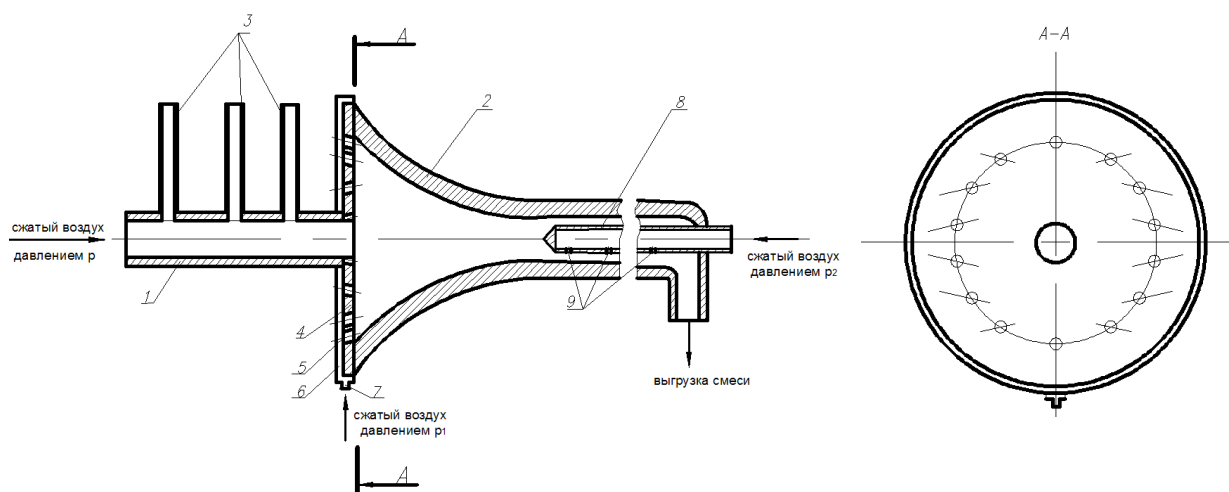


Рисунок 3. Пневмосмеситель непрерывного действия:

- 1- труба подающая; 2 - корпус; 3 – патрубки ввода; 4 – торец; 5 - сопла; 6 - крышка; 7 – люк подвода; 8 – патрубок; 9 - отверстия

При движении газа в сужающемся объеме камеры смешения, выполненной в виде конфузора, происходит увеличение давление по длине, а также увеличение скорости и плотности движущегося газа в зависимости от нелинейно уменьшающегося радиуса стенок камеры [4].

Установившееся изотермическое движение газа в камере смешения описывается системой трёх уравнений:

1. Уравнение движения:

$$\frac{dp}{g\rho} + g \frac{d\vartheta}{2g} + dz - \lambda \frac{dx \vartheta^2}{2Dg} = 0, \quad (1)$$

где  $p$  - давление воздуха в объеме;  $g$  - ускорение свободного падения;  $\rho$  - плотность воздуха в потоке;  $\vartheta$  - скорость потока в трубопроводе;

$z$  - энергия поглощения;  $D$  - диаметр сечения;  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления при течении газа по трубопроводу рекомендуется определять по формуле:

$$\lambda = 0,067 \left( \frac{158}{Re} + \frac{2k_s}{D} \right)^{0,2}, \quad (2)$$

Здесь  $k_s$  - эквивалентная шероховатость труб.

2. Уравнение состояния:

$$p = \rho z R T, \quad (3)$$

где  $R_{\Gamma}$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - температура.

3. Уравнение баланса количества газа или массового расхода:

$$G = \rho \vartheta S = const, \quad (4)$$

отсюда

$$\vartheta = \frac{G}{\rho S}, \quad (5)$$

Первый член в уравнении (1) – потенциальная энергия давления газа, второй – кинетическая энергия движущегося газа, третий – энергия положения; четвёртый – потерянный напор.

При выводе формул для расчёта производительности третьим членом пренебрегаем, т.е. считается, что увеличение скорости движения воздуха в трубопроводе переменного сечения происходит за счёт нелинейно уменьшающегося диаметра (объема).

При указанных допущениях уравнение движения может быть записано так:

$$\frac{dp}{g\rho} = \lambda \frac{dx \vartheta^2}{2Dg} - \vartheta \frac{d\vartheta}{2g}, \quad (6)$$

Умножим левую и правую части на  $\rho^2$ , получим:

$$\rho dp = \lambda \frac{\vartheta^2 \rho^2 dx}{2D} - \vartheta \frac{d\vartheta \rho^2}{2}, \quad (7)$$

Подставив в последнее выражение вместо  $\vartheta$  его значение из уравнения баланса, получим:

$$\rho dp = \frac{\lambda G^2 dx}{S^2 2D} - \frac{\vartheta d\vartheta \rho^2}{2}, \quad (8)$$

а из уравнения состояния выразив  $\rho$ , как

$$\rho = \frac{p}{zR_{\Gamma}T}, \quad (9)$$

и подставив (9) получим:

$$\frac{p dp}{zR_{\Gamma}T} = \frac{\lambda G^2 dx}{2S^2 D} - \frac{\vartheta d\vartheta \rho^2}{2}. \quad (10)$$

Возьмём интеграл от данного уравнения в пределах от начального давления до конечного в газопроводе (рис. 4) длиной от 0 до  $L$  и с изменяющейся скоростью:

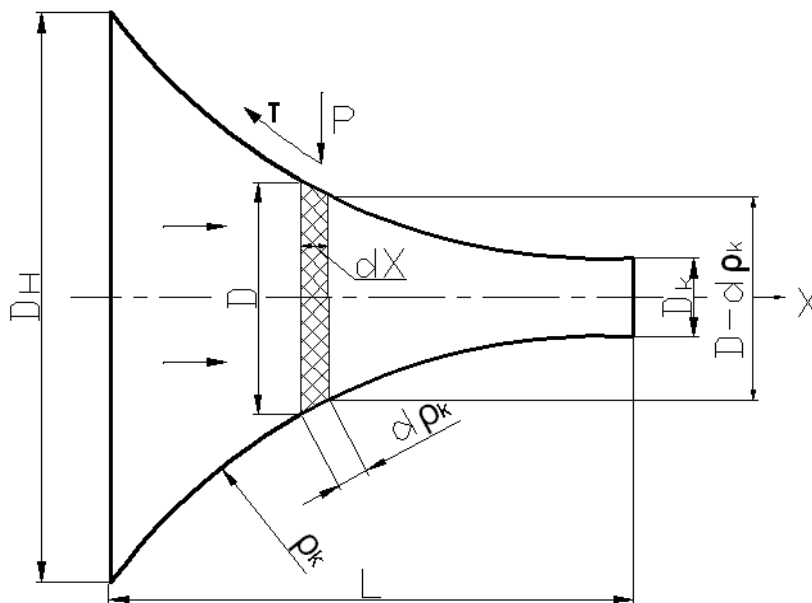


Рисунок 4. К определению объемного расхода воздуха в камере смешения

$$1/zR_{\Gamma}T \int_{P_1}^{P_2} p dp = \lambda G^2 / 2S^2 D \int_0^L dx - \rho^2 / 2 \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \vartheta d\vartheta, \quad (11)$$

Получаем выражение:

$$\frac{(p_2^2 - p_1^2)}{2zR_{\Gamma}T} = \frac{\lambda G^2 L}{2S^2 D} - \frac{(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2) \rho^2}{2}. \quad (12)$$

Вместо площади подставляем её значение, получим окончательно

$$\frac{2\lambda G^2 L}{\pi^2 D^5} = \frac{(p_2^2 - p_1^2)}{2zR_{\Gamma}T} + \frac{(g_2^2 - g_1^2)\rho^2}{2}. \quad (13)$$

Выражая из выражения (13) массовый расход  $G$  получим:

$$G = \sqrt{\frac{\pi^2 D^5 \left\{ \frac{(p_2^2 - p_1^2)}{2zR_{\Gamma}T} + \frac{(g_2^2 - g_1^2)\rho^2}{2} \right\}}{2\lambda L}}. \quad (14)$$

Объемный расход газа  $Q = \frac{G}{\rho}$  может быть выражен следующим образом:

$$Q = \frac{\pi D^{5/2} k_0}{\rho} \sqrt{\frac{\pi^2 D^5 \left\{ \frac{(p_2^2 - p_1^2)}{2zR_{\Gamma}T} + \frac{(g_2^2 - g_1^2)\rho^2}{2} \right\}}{2\lambda L}}, \quad (15)$$

где  $k_0 = \frac{\pi\sqrt{R}}{4\rho}$  - адиабатический коэффициент.

Таким образом, выражение (15) позволяет рассчитать объемный расход газа необходимого

$$Q = \frac{\pi D^{5/2} k_0 (X\rho_{st} + \rho_{me}(1-X))}{\rho_{me}\rho_{st}} \sqrt{\frac{\pi^2 D^5 \left\{ \frac{(p_2^2 - p_1^2)}{2zR_{\Gamma}T} + \frac{(g_2^2 - g_1^2)\rho_{me}^2\rho_{st}^2}{2X\rho_{st} + 2\rho_{me}(1-X)} \right\}}{2\lambda L}}.$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов, Ю.В. Хохлова.* Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчёт / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.
2. *Песцов В.М., Большаков Э.Л.* Современное состояние и перспективы развития производства ССС в России // Строительные материалы. - 1999. №3. С. 3-5.

для осуществления процесса перемещения частиц сухих сыпучих материалов в камере смешения пневмосмесителе предлагаемой конструкции.

В различных зонах пневмосмесителя распределенную плотность смешиваемого материала в воздушной среде можно определить по формуле [5]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{X}{\rho_{me}} + \frac{1-X}{\rho_{st}}, \quad (16)$$

где  $\rho_{me}$  - плотность смешиваемого материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{st}$  - плотность воздуха при средней температуре воздуха

$$t_{cp} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2}, \quad \text{кг/м}^3;$$

$X$  - массовая доля твердого вещества в воздухе, кг/кг.

Подставляя выражение (16) в (15) получаем выражение для расчёта производительности пневмосмесителя для сухих строительных смесей:

3. Пат. на полезную модель 102533 Российская Федерация, В 01F5/00. Пневмосмеситель непрерывного действия для производства сухих строительных смесей / Т.Н. Орехова, В.А. Уваров, А.Е. Качаев; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова, опубл. 10.03.11.

4. *Демидович Б.П.* Сборник задач и упражнений по математическому анализу. М.: Наука, 1977.- 527 с.

5. *Савилова Н.Г.* Штукатурные смеси общего и специального назначения // Строительные материалы. -1999.-№11.- С. 22-23.