

**И.И. Михеев, В.И. Горячёв, С.Е. Воробьев**

## **РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОПРИВОДА СУШИЛКИ ВИБРОКИПАЩЕГО СЛОЯ ДЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Представлена методика расчета геометрических параметров вибропривода кривошипно-шатунного типа сушилки для дисперсных материалов.

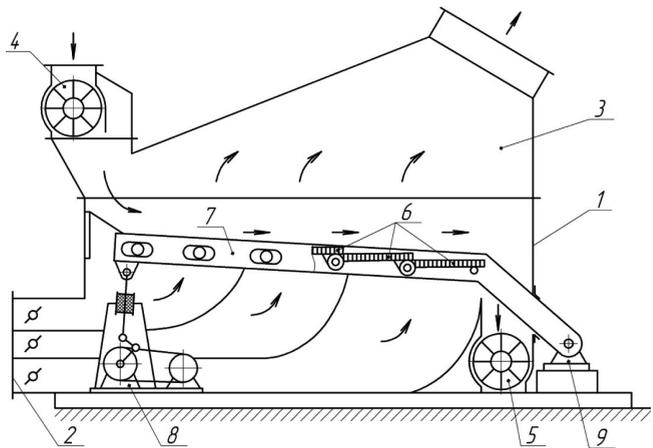
Методика расчета позволяет определить линейные размеры элементов вибропривода, а так же угол  $\alpha$ , под которым лонжероны наклонены от устройства загрузки к устройству выгрузки и который позволяет получить такие величины вертикальной и горизонтальной составляющих амплитуды вибрации, при которых порозность транспортируемого виброкипящего слоя и скорость его перемещения становятся оптимальными для конкретного сушеного материала.

**Ключевые слова:** вибрационная сушилка, вибропривод, лонжерон, газораспределительная решетка, дисперсный материал, виброкипящий слой, порозность.

**В** настоящее время разработана конструкция сушилки виброкипящего слоя для дисперсных материалов с кривошипно-шатунным механизмом вибропривода, обеспечивающим постепенное уменьшение амплитуды вибрации лонжеронов с установленной в них газораспределительной решеткой при движении сушеного материала к устройству выгрузки (рис. 1) [1, 2]. При этом снижается порозность виброкипящего слоя, что увеличивает теплоотдачу газового теплоносителя сушеному материалу и, как следствие, сокращает время сушки.

Кроме того, лонжероны установлены с наклоном от устройства загрузки к устройству выгрузки под таким углом  $\alpha$  (рис. 2), который позволяет получить такие величины вертикальной и горизонтальной составляющих амплитуды вибрации, при которых порозность транспортируемого виброкипящего слоя и скорость его перемещения становятся оптимальными для конкретного материала.

Сушилка (рис. 1) состоит корпуса 1 с газоподводящим 2 и газотводящим 3 коробами, устройства загрузки 4 и выгрузки 5, газораспределительной решетки 6, закрепленной в лонжеронах 7 вибропривода 8. При этом лонжероны шарнирно одним концом прикреплены к штангам вибропривода 8, а другим концом к опорам 9, закрепленным на корпусе сушилки 1.



**Рис. 1. Схема сушилки виброкипящего слоя для дисперсных материалов с кривошипно-шатунным приводом [1, 2]**



Тогда для точки  $M$  имеем:  
из равнобедренного треугольника  $MBO$ :

$$\angle OMB = \frac{180^\circ - \gamma}{2} = 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$$

из прямоугольного треугольника  $MBC$ :

$$\angle BMC = \angle OMB - \beta_1 = (90^\circ - \frac{\gamma}{2} - \beta_1); \quad \angle MBC = \delta_1 = 90^\circ - \angle BMC = (\beta_1 + \frac{\gamma}{2});$$

Вертикальная  $\Delta h_1$  и горизонтальная  $\Delta l_1$  составляющие размаха колебаний с учетом выражения (1):

$$\Delta h_1 = BC = MB \cdot \cos \delta_1 = \frac{\pi R_1 \gamma}{180^\circ} \cdot \cos \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right); \quad (3)$$

$$\Delta l_1 = MC = MB \cdot \sin \delta_1 = \frac{\pi R_1 \gamma}{180^\circ} \cdot \sin \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right). \quad (4)$$

Поскольку в конструкции вибропривода угол вибрации  $\gamma$  значительно меньше углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  ( $\gamma \leq 0,1^\circ$ , углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  в пределах  $5-10^\circ$ ), значения  $\delta_1 = \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right)$ ,  $\sin \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right)$ ,  $\cos \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right)$  отличаются от значений  $\beta_1$ ,  $\sin \beta_1$ ,  $\cos \beta_1$  менее чем на 1%.

Поэтому для практических расчетов принимаем:

$$\angle \delta_1 \approx \angle \beta_1, \quad \sin \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right) \approx \sin \beta_1, \quad \cos \left( \beta_1 + \frac{\gamma}{2} \right) \approx \cos \beta_1. \quad (5)$$

Из рис. 2 имеем:

$$\sin \beta_1 = \frac{h_1}{R_1}, \quad \cos \beta_1 = \frac{l_1}{R_1}. \quad (6)$$

Тогда выражения (3) и (4) вертикальной  $\Delta h_1$  и горизонтальной  $\Delta l_1$  составляющих в месте загрузки (точка  $M$ ) с учетом выражений (6) примут вид:

$$\Delta h_1 = \frac{\pi R_1 \gamma}{180^\circ} \cdot \frac{l_1}{R_1} = \frac{\pi \gamma}{180^\circ} \cdot l_1; \quad (7)$$

$$\Delta l_1 = \frac{\pi R_1 \gamma}{180^\circ} \cdot \frac{h_1}{R_1} = \frac{\pi \gamma}{180^\circ} \cdot h_1; \quad (8)$$

На основании выражений (7) и (8), аналогично получаем значения вертикальной  $\Delta h_2$  и горизонтальной  $\Delta l_2$  составляющих в месте выгрузки (точка  $D$ ):

$$\Delta h_2 = \frac{\pi \gamma}{180^\circ} \cdot l_2; \quad (9)$$

$$\Delta l_2 = \frac{\pi \gamma}{180^\circ} \cdot h_2; \quad (10)$$

Текущие значения составляющих по всей длине газораспределительной решетки от точки загрузки до точки выгрузки определяем из выражений:

$$\Delta h_i = \frac{\pi\gamma}{180^\circ} \cdot l_i; \quad \Delta l_i = \frac{\pi\gamma}{180^\circ} \cdot h_i \quad (11)$$

$$\text{где: } h_1 \geq h_i \geq h_2; \quad l_1 \geq l_i \geq l_2; \quad \Delta h_1 \geq \Delta h_i \geq \Delta h_2; \quad \Delta l_1 \geq \Delta l_i \geq \Delta l_2. \quad (12)$$

При этом  $h_i$  и  $l_i$  определяем или графически по чертежу или задаем значение  $l_i$ , после чего определяем значение  $h_i$  из выражения

$$h_i = (l_i - l_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha + h_2. \quad (13)$$

Угол наклона  $\alpha$  лонжеронов определяем из выражения (рис. 2):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(h_1 - h_2)}{(l_1 - l_2)}. \quad (14)$$

Длину  $l_p$  газораспределительной решетки определяем из выражения (рис. 2):

$$l_p = MD = \frac{(l_1 - l_2)}{\cos \alpha} = \frac{(8000 - 1640)}{\cos 5^\circ 40'} = 6425 \text{ мм}. \quad (15)$$

Для практического расчета угла  $\alpha$  вначале, учитывая опыт работы имеющихся сушилок [2], задаемся в месте загрузки (точка  $M$ ) размерами  $l_1$  и  $h_1$  (рис. 2), например:  $l_1 = 8000$  мм,  $h_1 = 1000$  мм.

Затем, исходя из физико-механических характеристик конкретного сушеного материала, назначаем вертикальные  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  и горизонтальные  $\Delta l_1$ ,  $\Delta l_2$  составляющие размаха колебаний в точках загрузки  $M$  и выгрузки  $D$  с целью постепенного снижения величины порозности виброкипящего слоя до значений, обеспечивающих оптимальное время сушки, например:  $\Delta h_1 = 9,50$  мм,  $\Delta h_2 = 2,00$  мм,  $\Delta l_1 = 1,22$  мм,  $\Delta l_2 = 0,40$  мм.

После чего, используя полученные выше выражения, получаем геометрические параметры вибропривода сушилки (рис. 2):

радиус качания  $R_1$  из прямоугольного треугольника  $MON$ :

$$R_1 = \sqrt{h_1^2 + l_1^2} = \sqrt{8000^2 + 1000^2} = 8060 ;$$

$$\text{угол качания лонжеронов } \gamma \text{ из выражения (7): } \gamma = \frac{\Delta h_1 \cdot 180^\circ}{\pi l_1} = \frac{9,50 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 8000} = 0,07^\circ;$$

$$\text{размах колебаний } L_1 \text{ из выражения (1): } L_1 = \frac{\pi R_1 \gamma}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 8060 \cdot 0,07}{180^\circ} = 9,8 \text{ мм};$$

для настройки вибропривода определяем амплитуду вибрации  $A_1$  в месте загрузки (точка  $M$ ):

$$A_1 = \frac{L_1}{2} = \frac{9,8}{2} = 4,9 \text{ мм};$$

$$\text{величина } l_2 \text{ из выражения (9): } l_2 = \frac{\Delta h_2 \cdot 180^\circ}{\pi \gamma} = \frac{2,00 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,07^\circ} = 1640 \text{ мм};$$

$$\text{величина } h_2 \text{ из выражения (10): } h_2 = \frac{\Delta l_2 \cdot 180^\circ}{\pi \gamma} = \frac{0,40 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,07} = 327 \text{ мм};$$

угол  $\alpha$  наклона лонжеронов к горизонтали из выражения (14):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(h_1 - h_2)}{(l_1 - l_2)} = \frac{(1000 - 327)}{(8000 - 1640)} = \frac{673}{6360} = 0,10, \quad \text{откуда } \alpha = 5^\circ 40';$$

длина  $l_p$  газораспределительной решетки из выражения (15):

$$l_p = MD = \frac{(l_1 - l_2)}{\cos \alpha} = \frac{(8000 - 1640)}{\cos 5^\circ 40'} = 6425 \text{ мм.}$$

В заключение следует отметить, что для использования представленной методики расчета сушилки для материалов с различными физико-механическими характеристиками необходимо создание конструкции вибропривода сушилки с возможностью регулирования величины угла  $\alpha$  наклона лонжеронов к горизонтали.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2525046, МПК F 26 B 17/10, 3/092. Сушилка виброкипящего слоя для дисперсных материалов, опубл. 10.08.14, Бюл. № 22.
2. Горячев В.И., Михеев И.И., Воробьев С.Е. Сушилки виброкипящего слоя для дисперсных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 259–263.
3. Горячев В.И. Искусственное обезвоживание торфа: монография. – Тверь: ТвГТУ, 2012. – 184 с. **ГИАВ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Михеев Игорь Иванович – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: mikheev1937@yandex.ru,  
Горячев Валентин Иванович – доктор технических наук, профессор,  
Воробьев Сергей Евгеньевич – аспирант, e-mail: vorobyev.s@bk.ru,  
Тверской государственный технический университет.

---

UDC 662.641.093.6:662.641.047

## CALCULATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE VIBRATION DRIVE OF THE VIBRATED LAYER DRYERS FOR PARTICULATE MATERIALS

Mikheyev I.I., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: mikheev1937@yandex.ru,  
Goryachev V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vorobiev S.E., Graduate Student, e-mail: vorobyev.s@bk.ru,  
Tver State Technical University.

---

*The article presents a method of calculating the geometric parameters of a crank type vibratory drive of a dryer for particulate materials. Method of calculation to determine the linear dimensions of the vibratory drive elements, as well as the angle  $\alpha$ , at which the spars are inclined towards the unloading device. This allows to obtain such values of the vertical and horizontal components of vibration amplitude at which the vibration layer porosity and its rate of movement become optimal for the specific dried material.*

*Key words: the vibration dryer, the vibrodrive, longeron, gas distribution grid, the disperse material, vibroboiling layer, porosity.*

## REFERENCES

1. Patent RU 2525046, МПК F 26 B 17/10, 3/092, 10.08.14.
2. Goryachev V.I., Mikheev I.I., Vorob'ev S.E. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', 2014, no 6, pp. 259–263.
3. Goryachev V.I. *Iskusstvennoe obezvozhivanie torfa: monografiya* (Artificial turf dehydration: Monograph), Tver, TvGTU, 2012, 184 p.