

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМБИКОРМОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ*

ДОЗИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

Назначение, область применения и классификация

Дозирующие устройства широко используются на комбикормовых и других зерноперерабатывающих предприятиях, в линиях дозирования и смешивания компонентов комбикормов, в линиях подготовки зерна для учета продукции, а также в размольных отделениях для контроля потоков продуктов и формирования готовой продукции. В весовых и фасовочных отделениях мукомольных, крупяных и комбикормовых предприятий весовые дозаторы применяют для выдачи порций продукта.

Современные весовые устройства базируются на весоизмерительных тензорезисторных датчиках и позволяют существенно упростить конструкцию, ремонт и эксплуатацию весов. Для зерноперерабатывающих предприятий выпускаются платформенные, вагонные, автомобильные, конвейерные весы, бункерные весовые дозаторы для легко и трудносыпучих продуктов широкого типоразмерного ряда по производительности.

подавляющее большинство технологических процессов перерабатывающих предприятий базируется на определенной массе исходного сырья, учет выработанной продукции также производится в единицах массы. Поэтому основное назначение весодозирующих устройств — обеспечение заданной массы материала в дозе или поддержание заданного расхода материала по массе с определенной точностью. Дозирование сыпучих материалов можно классифицировать по:

- принципу действия;
- структуре рабочего цикла;
- степени механизации и автоматизации и т. д.

Основные схемы дозирования представлены на рис. 1.

Весовое дозирование (дискретное и непрерывное) имеет следующие классификационные признаки:

- количество дозируемых компонентов — одно- или многокомпонентное;
- вид грузоприемного устройства — бункерное (ковшое) или ленточное (конвейерное);
- пределы производительности — до 0,4 кг/ч — микрорасходы; 6,3–100 кг/ч — низкие расходы; 100–1600 кг/ч — средние расходы; 1,6–25 т/ч — большие расходы; 25–400 т/ч — высокие и свыше 400 т/ч — макро-расходы;

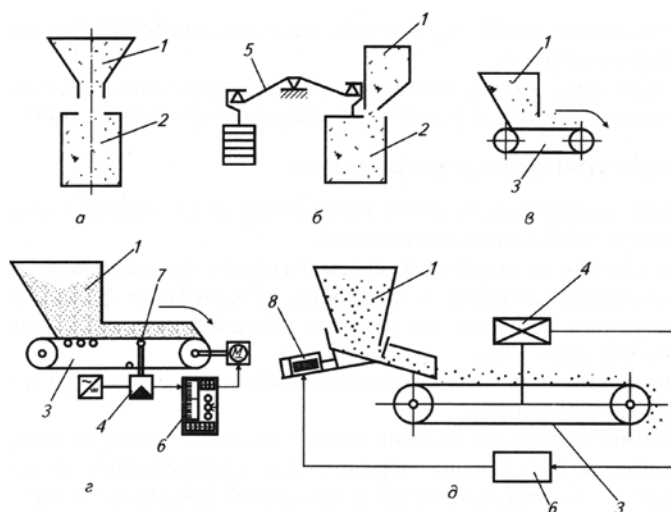


Рис. 1. Схемы дозирования сыпучих материалов: а — дискретное объемное; б — дискретное весовое; в — непрерывное объемное; г — непрерывное весовое. 1 — бункер; 2 — мерная камера; 3 — конвейер ленточный; 4 — весовой механизм; 5 — коромысло; 6 — регулятор производительности; 7 — ролик-опора; 8 — вибропитатель

- класс точности — 0,1; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5;
- тип весового механизма дозаторов — рычажные, квадрантные, тензометрические, индукционные с компенсационным силоизмерителем, магнитно-анизотропные, вибрационно-частотные;
- тип отсчетного устройства весового механизма — коромысловые, циферблатные, со вторичными приборами;
- вид сигнала дистанционной передачи показаний и управления — аналоговый и дискретно-цифровой;
- конструктивное исполнение (только для дозаторов непрерывного действия) — одно- и двухагрегатные;
- способ регулирования расхода (только для дозаторов непрерывного действия) изменением нагрузки на весовом конвейере или изменением скорости движения ленты конвейера.

Анализ технологических процессов на предприятиях показывает, что процессы дозирования можно свести к следующим вариантам:

- дозирование сырья или полуфабрикатов в последующую машину или поточную линию с целью стабилизации производительности;

*Продолжение. Начало в №№ 6 и 7-8' 2016

- дозирование при приготовлении многокомпонентных смесей. По ходу технологического потока после дозаторов следует смеситель;
- дозирование (дискретное, порционное) при фасовании в тару.

Зерноперерабатывающие предприятия агропромышленного комплекса (АПК) и другие смежные предприятия, использующие при производстве сыпучие материалы, работают по наиболее сложному второму варианту, характерному наличием комплекса: дозаторы-смеситель.

Фасование в тару, основанное на дискретном дозировании, здесь не рассматривается, поскольку относится к фасовочно-упаковочному оборудованию.

Оценка точности дозирования

Под точностью дозирования понимают соответствие фактической массы дозы или расхода их ожидаемым заданным значениям.

Помимо случайных колебаний массы дозируемого материала, зависящих от большого количества факторов, в частности, от колебаний физико-механических свойств дозируемого продукта, на точность дозирования влияют конструктивные параметры весов и дозаторов.

Под конструктивными параметрами понимают класс точности и чувствительность каждого типа устройства.

Класс точности технологических весов и весовых дозаторов дискретного действия определяется следующим образом: для циферблатных и коромысловых шкальных весов — по относительной допускаемой погрешности при наибольшем пределе взвешивания, выраженной в процентах; для автоматических весов и дозаторов непрерывного действия — по относительной допускаемой погрешности в процентах от наибольшего предела взвешивания.

Относительная допускаемая погрешность зависит от вида сыпучего материала и регламентируется нормативными документами.

Чувствительность весов и дозаторов — метрологическое свойство, отражающее изменения выходного сигнала измерительной аппаратуры при изменении измеряемой величины. Чувствительность выражается отношением изменения сигнала на выходе к вызывающей это изменение измеряемой величине. Чувствительность весов отвечает требованиям тогда, когда циферблатный указатель отклонится на одно деление при изменении массы груза на величину, равную цене одного деления.

В дозаторах, оснащенных весовым механизмом, при изменении массы груза вырабатывается соответствующий этой массе сигнал, который может быть показан на дисплее.

Следует отметить, что точность дискретного дозирования оценивают по массе дозы, непрерывного — по массовому расходу как при весовом, так и при объемном дозировании. Но при объемном дозировании на массу дозы или массовый расход влияет значительно большее число

факторов, чем при весовом. Поэтому объемные дозаторы менее точны, чем весовые.

При дискретном объемном способе (рис. 1, а) дозирующее оборудование периодически отмеривает порцию объемом V (м³), масса M которой равна

$$M = V \xi \gamma, \quad (1)$$

где γ — объемная масса продукта, кг/м³;
 ξ — коэффициент заполнения камеры.

Дискретное весовое дозирование (рис. 1, б) основано на отмеривании дозы массой M .

При непрерывном объемном дозировании (рис. 1, в) оборудование подает поток продукта с расходом (кг/с)

$$q = S v \gamma, \quad (2)$$

где S — поперечное сечение потока продукта, м²;
 v — скорость потока продукта, м/с;
 γ — объемная масса продукта, кг/м³.

В случае непрерывного весового дозирования поток продукта, находящегося на ленте конвейера, непрерывно взвешивается. В зависимости от результатов взвешивания автоматически корректируется скорость движения ленты (рис. 1, г) или параметры вибропитателя (рис. 1, д).

Изменения физико-механических свойств продукта и флуктуации его истечения из дозатора являются по своей природе случайными величинами, изменяющимися во времени. Случайным образом изменяются и величины, входящие в формулы (1) и (2), вследствие чего расход при дозировании — случайная функция времени (случайный процесс).

Практически оценка точности дозаторов непрерывного действия основана на контрольном взвешивании проб, отобранных из потока продукта за промежуток времени t . Масса каждой пробы равна

$$M = \int_0^t q(t) dt.$$

Результаты контрольных взвешиваний всегда отличаются друг от друга, то есть они имеют случайное рассеивание — случайные погрешности дозирования, отражающие колебания расхода. Причины, вызывающие случайные погрешности дозирования, различны — колебания физико-механических свойств материала, нестабильность питающей сети, вибрации оборудования и т. д. Поэтому по контрольным пробам точность дозирования определяют с применением методов математической статистики.

Случайные погрешности дозирования подчинены нормальному закону распределения случайных величин, характеризующему плотностью распределения вероятностей

$$f(M) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(M - a)^2}{2\sigma^2}},$$

где M_i — масса пробы, кг;
 a — центр группирования распределения ($a \approx M_{cp}$);

$$M_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \text{ — среднее арифметическое } n \text{ результатов} \\ (n = 20-30);$$

σ — среднее квадратическое отклонение.

Графически нормальный закон распределения случайных погрешностей дозирования иллюстрируется рис. 2, где показаны гистограмма и теоретическая кривая, построенные по результатам объемного дозирования.

Среднее арифметическое значение M_{cp} характеризует среднюю производительность — центр настройки дозатора. Мету случайного рассеивания — среднее квадратическое отклонение — рассчитывают по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - M_{cp})^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Она служит количественной оценкой случайных погрешностей дозирования. На практике случайная погрешность дозирования

$$\Delta_{cl} = \pm (2\div 3)\sigma. \quad (4)$$

Соответственно, чем больше величина σ , тем больше разброс случайных погрешностей — случайных колебаний измеряемой величины.

Дозаторы должны обеспечивать не только малые случайные колебания производительности, характеризующиеся σ , но и соответствие средней массы M_{cp} заданному, например, по рецептуре, расчетному значению пробы

$$M_3 = q_3 t,$$

где q_3 — заданное значение расхода, кг/с.

Очевидно, что заданное значение q_3 не может быть установлено органами настройки дозатора совершенно точно. Кроме того, в процессе работы центр настройки может смещаться, например, из-за изменения объемной массы при объемном дозировании [см. формулу (2)]. Отклонение M_{cp} от M_3 называют систематической погрешностью дозирования (кг)

$$\Delta_{сист} = M_{cp} - M_3 \text{ или } \Delta_{сист} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} - q_3 t. \quad (5)$$

Полная же погрешность дозирования Δ_d (кг) складывается из случайной и систематической

$$\Delta_d = \Delta_{сист} + \Delta_{cl}$$

или

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} - q_3 t \pm (2\div 3) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - M_{cp})^2}{n-1}}. \quad (6)$$

Для каждого типа дозатора эта величина не должна выходить за допустимые пределы.

Погрешности дискретного дозирования зависят в основном от тех же причин, что и непрерывного. Случайные, систематические и полные погрешности дозирования могут

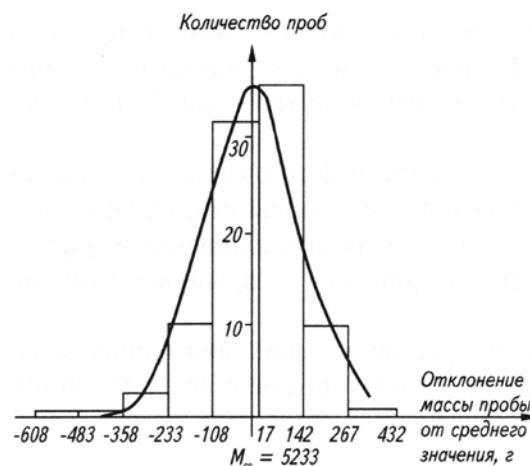


Рис. 2. Экспериментальное и теоретическое распределение случайных погрешностей дозирования

быть определены по формулам (3), (4), (5), (6), если в них M_i , M_{cp} и M_3 будут текущее, среднее и заданное значения контрольной дозы (порции) соответственно.

Современные весовые дозаторы дискретного действия обеспечивают погрешность 0,2–0,5%, а непрерывного действия — 0,5–2%.

ПИТАЮЩИЕ И ДОЗИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ОБЪЕМНОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Достоинство объемных питающих и дозирующих устройств — высокая производительность, малые габариты, простота конструкции. Недостатки — изменение производительности в результате непостоянства физических свойств продукта, необходимость настройки при переходе на другой рецепт, трудность автоматизации процесса дозирования. Колебания влажности, крупности размола и другие факторы изменяют сыпучесть и объемную массу продукта. Реагировать на изменение объемной массы сыпучих продуктов объемные дозаторы не могут, что приводит к колебаниям их производительности и к погрешностям дозирования. При непрерывном объемном дозировании погрешность его выражают обычно в процентах от номинального значения производительности.

Для объемных дозаторов (а также для питателей весовых дозаторов) характерно деление по конструктивному исполнению рабочего органа: барабанные, шнековые, тарельчатые, ленточные, вибрационные, стаканчиковые и т. д.

При непрерывном объемном дозировании (рис. 3) оборудование подает поток продукта с расходом (кг/с)

$$q = S v \gamma, \quad (7)$$

где S — площадь поперечного сечения потока продукта, m^2 ;

v — скорость потока продукта, m/s ;

γ — объемная масса продукта, kg/m^3 .

Объемные дозаторы непрерывного действия применяют как самостоятельное оборудование, а также в качестве

питателей весовых дозаторов непрерывного действия и другого технологического оборудования.

Барабанные дозаторы (рис. 3, а). Рабочий орган представляет собой барабан с несколькими карманами, заполняемыми продуктом под действием силы тяжести. Из карманов он поступает в выходной патрубок. Окружная скорость барабана в пределах от 0,025 до 1,0 м/с, может изменяться за счет преобразователя тока, установленного в системе питания электродвигателя.

Конструкция барабанов весьма разнообразна — от гладких барабанов, ребристых, до устройств с лопастями самых различных видов. Тип барабана выбирается в зависимости от свойств продукта и производительности дозатора. Чем крупнее частицы продукта и лучше его сыпучесть, тем глубже могут быть выполнены карманы. Например, рифленные барабаны могут применяться для порошкообразных и мелкозернистых продуктов, лопастные — для зернистых.

Производительность барабанных дозаторов Q (кг/с) определяют по формуле:

$$Q = 1,67 \cdot 10^{-2} K S l z n_6 \gamma, \quad (8)$$

где S — площадь поперечного сечения кармана, м^2 ;

l — длина кармана, м ;

z — число карманов в барабане;

n_6 — частота вращения барабана, об/мин;

γ — объемная масса продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K — коэффициент заполнения карманов (0,8–0,95).

Мощность (кВт), необходимая для привода барабана в движение, приблизительно определяется выражением

$$N = 5 \cdot 10^{-5} k_1 k_2 p S n D \operatorname{tg} \varphi_0$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты, соответственно учитывающие сопротивление продукта дроблению и потери, обусловленные преодолением сопротивлений в механической системе (для мелкозернистых и порошкообразных продуктов

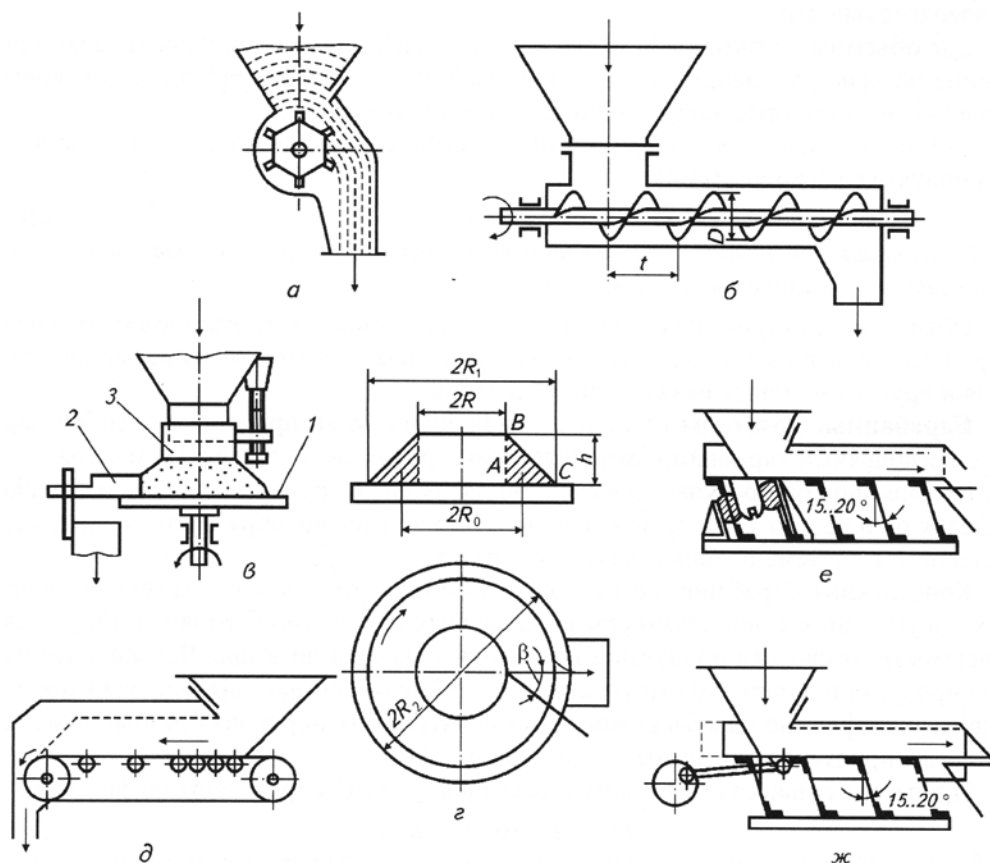


Рис. 3. Схемы объемных дозаторов непрерывного действия: а — барабанный; б — шнековый; в — тарельчатый; г — схема к расчету тарельчатого дозатора; 1 — тарель; 2 — скребок; 3 — манжета; д — ленточный; е — вибрационный с электровибродвигателем; ж — вибрационный с эксцентриковым колебателем

$k_1 = k_2 = 1$, для крупнозернистых и легкораспадающихся $k_1 = 2, k_2 = 1,1 - 1,25$;

p — удельное давление продукта на барабан, Па;

S — площадь опорной поверхности столба продукта, м^2 ;

D — диаметр барабана, м ;

n — частота вращения барабана, об/мин;

φ_0 — угол естественного откоса продукта в движении.

Шнековые дозаторы (рис. 3, б) применяют для подачи сыпучих продуктов в тех случаях, когда дополнительное измельчение шнеком отдельных частиц дозируемого продукта не имеет значения. Дозаторы можно устанавливать горизонтально, наклонно или вертикально.

Для трудносыпучих продуктов используют двухзаходный сплошной шнек с относительно неглубокой винтовой линией, профиль которой в продольном сечении представляет собой сегмент, часть эллипса и т. д. Производительность регулируют, изменяя частоту вращения шнека. Производительность (кг/с) шнекового дозатора определяют по формуле:

$$Q = 1,31 \cdot 10^{-2} D k n \gamma, \quad (9)$$

где D — диаметр шнека, м ;

t — шаг шнека, м;

k — коэффициент заполнения ($k = 0,8-1,0$);

n — частота вращения шнека, об/мин (для легкосыпучих продуктов $n = 40-80$ об/мин, для трудносыпучих продуктов $n = 20-40$ об/мин);

γ — объемная масса продукта, кг/м³.

Потребную мощность электродвигателя (кВт) для привода шнекового дозатора можно определить по формуле:

$$N = \frac{Q}{1000\eta} (L_r K_c + H) k_1,$$

где η — КПД привода;

L_r — горизонтальная проекция пути перемещения продукта, м;

H — высота подъема продукта, м;

K_c — коэффициент сопротивления перемещению продукта в корпусе дозатора;

k_1 — коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках ($k_1 = 1,1-1,2$).

Тарельчатые дозаторы. Основной рабочий орган тарельчатого дозатора (рис. 3, в, г) — вращающийся диск (тарель) 1, с которого продукт сбрасывается скребком 2. Высоту слоя продукта регулируют передвижной манжетой 3, надетой на выходной патрубков дозатора.

Вертикальный вал приводится в движение от электродвигателя через передаточный механизм. Продукт располагается на диске усеченным конусом, размеры которого зависят от высоты расположения манжеты. При вращении диска часть продукта снимается скребком.

Производительность дозатора зависит от высоты продукта на диске и частоты вращения диска. Продукт на тарели располагается в виде кольца треугольного сечения. Площадь поперечного сечения S_k кольца равна:

$$S_k = \frac{h^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \quad (10)$$

где h — расстояние между тарелью и манжетой, м;

φ_0 — угол откоса продукта при вращении тарели.

Расстояние R_0 (м) между осью вращения тарели и центром тяжести радиального сечения кольца материала, находящегося на диске

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi_0},$$

где R — радиус манжеты, м.

Средняя скорость движения продукта v_0 (м/с) равна скорости движения центра тяжести:

$$v_0 = \frac{\pi n R_0}{30} = \frac{\pi n}{30} \left(R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \right), \quad (11)$$

где n — частота вращения диска, об/мин.

Подставляя значение v_0 и S_k в формулу (7) и принимая $q = Q$ получим:

$$Q = \frac{\pi n h^2 \gamma}{60 \operatorname{tg} \varphi_0} \left(R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \right). \quad (12)$$

Предельную частоту вращения диска определяют из условия, при котором наибольший модуль центробежной силы, действующей на частицы массой m (кг), меньше силы трения ее о тарель

$$m \omega^2 R_1 < f_1 m g,$$

тогда

$$n \leq 30 \sqrt{\frac{f_1}{R_1}}; \quad n \leq 30 \sqrt{\frac{f_1}{R + \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi_0}}},$$

где ω — угловая скорость, с⁻¹;

R_1 — наибольший радиус сечения кольца продукта, м;

f_1 — коэффициент трения продукта о диск (тарель);

g — ускорение свободного падения.

Определяя мощность для привода тарельчатого дозатора, N (кВт), необходимо учитывать сопротивление трения продукта о поверхность диска и скребка, сопротивление дроблению продукта скребком, сопротивление закручиванию столба продукта, опускающегося из воронки бункера:

$$N = \frac{S_k L \gamma g f_1 v_0 K_2}{1000 \eta} (1 + f_2 \cos \beta),$$

где L — величина перемещения продукта, м;

f_1 и f_2 — коэффициенты трения продукта, соответственно, о тарель и скребок;

β — угол установки скребка относительно диаметра тарели;

K_2 — коэффициент, учитывающий сопротивление закручиванию и дроблению продукта ($K_2 = 1,2-2$);

η — КПД привода механизма дозатора.

Ленточный дозатор (см. рис. 3, д) представляет собой короткий конвейер, расположенный под питающим бункером. Вдоль ленты установлены борта, образующие желоб, по которому движется подаваемый продукт. Дозатор может быть использован в качестве питателя весового дозатора дискретного действия и других видов технологического оборудования.

Производительность регулируется перемещением заклонки, изменяющей высоту слоя продукта, а также изменением скорости ленты.

Производительность и потребную мощность двигателя определяют по формулам, изложенным в курсе «Подъемно-транспортные установки».

Вибрационные дозаторы. Рабочий орган вибрационных дозаторов — опорный или подвесной лоток, полу-

чающий колебания от вибропривода. В качестве привода используются эксцентриковые колебатели или мотор-вибраторы (рис. 3. ж), а также электромагнитные вибраторы (рис. 3, е).

Перемещение частицы продукта по лотку вибропитателя аналогично перемещению ее по колеблющемуся сити. В вибрационных дозаторах производительность регулируют изменением частоты или амплитуды колебаний.

Производительность (кг/с) вибрационных дозаторов можно определить по формуле:

$$Q = Bhv\gamma, \quad (13)$$

где B — ширина лотка, м;

h — высота слоя продукта на лотке, м;

v — средняя скорость перемещения продукта, м/с;

γ — объемная масса продукта, кг/м³.

Величина средней скорости (м/с) перемещения продукта по лотку при частоте колебаний больше или равной 30 Гц

$$v = ka\omega \cos\beta$$

где $k = k_1 + k_2 \sin\varphi$; k_1 и k_2 — коэффициенты, зависящие от свойств продукта, определяемые опытным путем;

a — амплитуда колебаний, м;

ω — угловая частота колебаний, с⁻¹;

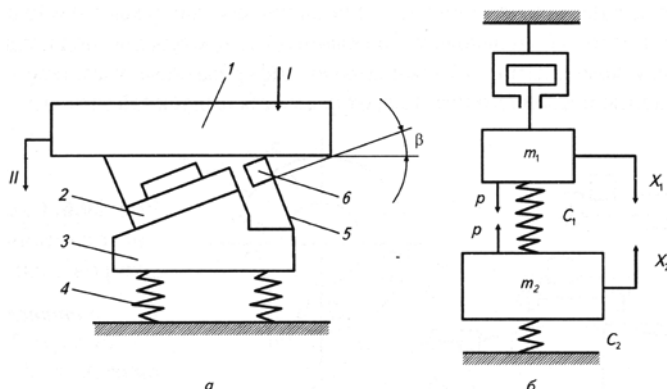


Рис. 4. Электрический вибрационный дозатор объемного действия:

a — принципиальная схема; b — расчетная схема;

1 — лоток; 2 — статор вибратора; 3 — основание;

4 — опорная пружина; 5 — рессора;

6 — якорь электромагнитного вибратора;

I — загрузка; II — выгрузка

φ — угол наклона лотка к горизонтали;

β — угол между направлением тягового усилия и лотком.

В дозаторе с электромагнитным вибратором (рис. 4, а) статор 2 электромагнита устанавливается на массивном основании 3, якорь 6 прикрепляется к лотку 1, соединенному с основанием плоскими пружинами-рессорами 5. Между основанием и корпусом установлены опорные пружины 4. Слой сыпучего материала перемещается за счет сил трения и инерции по внутренней поверхности лотка 1. Такое перемещение обусловлено углом $\beta = 15-22^\circ$ между направлением колебаний (под этим углом установлен вибродвигатель по отношению к лотку) и поверхностью рабочего органа, благодаря чему частицы материала и весь слой как бы подталкиваются вдоль лотка. Величина угла β принята в результате обобщения большого количества опытных данных. Колебания лотка, вызывающие перемещения продукта, являются следствием взаимодействия между электромагнитом 2, якорем 6 и возвратного действия рессор 5.

Амплитуду колебаний, находящуюся в пределах 0,1–3 мм, обычно регулируют изменением подводимого напряжения. Это особенно удобно по сравнению с другими видами управления при автоматическом регулировании, вследствие чего вибрационные дозаторы объемного действия особенно широко применяются как питатели в весовых дозаторах. ■

Источник: Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденев, А.Е. Яблоков, I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Демского. — М.: Дели принт, 2010. — 696 с.