

**Учебное издание**

**Гайсин И.А., Башмаков Д.А., Хазиев М.Л.**

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ  
ОБЪЕМНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ**

**Методические указания**

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре  
Набережночелнинского института  
Казанского (Приволжского) федерального университета

Подписано в печать 11.05. 2018г.  
Формат 60x84/16. Печать ризографическая.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. п. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 50 экз. Заказ № 998.

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19  
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Набережночелнинский институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ  
ОБЪЕМНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ**

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине  
«Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств»

Набережные Челны  
2018 г.

УДК 697.1(075.8)  
ББК 38.113.6(я)73

П79

*Печатается в соответствии  
с решением учебно-методической комиссии отделения  
информационных технологий и энергетических систем  
НЧИ К(П)ФУ*

**Рецензенты:**

кандидат технических наук, доцент **Р.Р. Саубанов;**  
доктор технических наук, профессор **С.В. Дмитриев**

**Гайсин И.А.**

**П79 Расчет основных параметров машин для объемного дозирования сыпучих продуктов:** методические указания / Гайсин И.А., Башмаков Д.А., Хазиев М.Л. – Набережные Челны : Изд.-полигр. Центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2018.- 26 с.

В издании изложены материалы, предназначенные для студентов направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» при подготовке и выполнении лабораторных работ по дисциплинам: «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», «Физико-механические свойства сырья и готовой продукции», «Инженерная реология», «Проектирование технологических линий»

© Набережночелнинский институт К(П)ФУ, 2018

## РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ ОБЪЕМНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

**Цель работы:** Оценка технического уровня (состояния) устройств для объемного дозирования сыпучих продуктов и её исследование для повышения эффективности процесса дозирования и выявление основных направлений совершенствования конструкции.

**Задачи работы:**

1. Изучить устройство и принцип работы машин для объемного дозирования сыпучих продуктов.
2. Усвоить правила безопасной эксплуатации дозаторов и подготовить их к работе.
3. Произвести расчет машин объемного дозирования согласно примерам.

**Общие положения**

В пищевых производствах большое значение имеет процесс дозирования отдельных компонентов сырья, промежуточных продуктов и вспомогательных материалов, который должен обеспечить заданную рецептуру, а также правильную и точную фасовку готовых продуктов, поступающих к потребителю. Дозаторы могут быть непрерывного и периодического действия. Последние применяются при фасовочных операциях. По принципу дозирования все дозирующие устройства делятся на объемные и весовые. По способу выпускают дозаторы с изменением площади поперечного сечения и с изменением скорости поступающего продукта.

Существуют следующие конструкции объемных дозаторов непрерывного действия для сыпучих продуктов: ленточные, шнековые, барабанные, тарельчатые и вибрационные. Они используются и в качестве механизмов для подачи продуктов в машины для получения смесей. Наиболее часто применяют барабанные (цилиндрические) и тарельчатые объемные дозаторы.

**Барабанный дозатор.** Рабочими органами машины являются ворошитель (побудитель), не позволяющий продукту слеживаться в бункере над дозатором, и барабан с канавками с устройством изменения длины канавок или изменением частоты вращения барабана в корпусе дозатора.

Производительность барабанного дозатора  $Q$  (кг/ч) определяется по формуле:

$$Q = 60 \cdot F \cdot l \cdot z \cdot n_b \cdot p \cdot k, \quad (1)$$

где  $z$  – количество канавок в барабане;

$F$  – площадь поперечного сечения канавки,  $\text{м}^2$ ;

$l$  – длина канавки барабана, м;

$n_b$  – частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$p$  – объемная масса продукта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$k$  – коэффициент заполнения ( $k = 0,8 \dots 0,9$ ).

Частоту  $n_b$  вращения барабана определяем по формуле:

$$n_b = \frac{\alpha}{360} \cdot n_{\text{в}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол поворота барабана за один оборот приводного вала, град;

$n_{\text{в}}$  – частота вращения приводного вала,  $\text{мин}^{-1}$ .

Профиль сечения канавки выбираем в зависимости от параметров дозируемого продукта. Площадь поперечного сечения канавки можно определить математическим способом или графоаналитическим способом (прочертив на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1 профиль сечения и затем посчитать площадь сечения канавки).

Форму расходного бункера выбираем в зависимости от вида продукта, а объем бункера – в зависимости от назначения и времени непрерывной работы дозатора.

Мощность для привода барабана дозатора  $N_b$  (кВт) определяем по формуле:

$$N_b = 0,0005 \cdot D \cdot F_1 \cdot p \cdot n_b \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \text{tg} \varphi, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр барабана, м;

$F_1$  – площадь горизонтального сечения горловины бункера над барабаном (площадь опорной поверхности столба продукта),  $\text{м}^2$ ;

$p$  – удельное давление продукта на поверхность барабана,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ ;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий сопротивление продукта дроблению ( $k_1 = 1,2 \dots 2,0$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий потери на трение рабочих органов дозатора ( $k_2 = 1,1 \dots 1,2$ );

$\varphi$  – угол естественного откоса продукта при движении, град.

Мощность для привода ворошителя  $N_v$  (кВт) определяем по формуле:

4

$$N_v = z \cdot \frac{k_2 \cdot \omega^3 \cdot h}{408} \cdot (R_1^4 - r_1^4) \quad (4)$$

где  $z$  – число лопастей, шт;

$h$  – высота лопасти, м;

$k_2$  – коэффициент сопротивления;

$\omega$  – угловая скорость ворошителя,  $\text{с}^{-1}$ ;

$R_1$  – наружный радиус вращения лопастей, м;

$r_1$  – внутренний радиус вращения лопастей, м.

Общая мощность на валу барабанного дозатора  $N_d$  (кВт) определяется по формуле:

$$N_d = N_b + N_v \quad (5)$$

Для разработки кинематической схемы привода барабанного дозатора необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле:

$$i = \frac{n}{n_{\text{в}}} \quad (6)$$

где  $n$  – частота вращения выходного вала привода,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{\text{в}}$  – частота вращения ворошителя,  $\text{мин}^{-1}$ , принимаем ее

$$n_{\text{в}} = n_b / 2;$$

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле:

$$i = i_1 \cdot \dots \cdot i_n \quad (7)$$

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех КПД передач привода и определяется по формуле:

$$\eta = \eta_1 \cdot \dots \cdot \eta_n \quad (8)$$

Установленная мощность привода  $N_{\text{пр}}$  (кВт) определяется по формуле:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_d}{\eta} \quad (9)$$

Крутящий момент  $M_{\text{пр}}$  (Н·м) определяется по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot 30 \cdot 1000}{\pi \cdot n} \quad (10)$$

где  $N_{\text{пр}}$  – мощность на рассчитываемом валу, Вт;

$n$  – скорость вращения вала, на котором рассчитывается крутящий момент.

5

**Тарельчатый дозатор.** Основным рабочим органом тарельчатого дозатора является вращающаяся тарелка (диск), с которого продукт сбрасывается скребком, толщина слоя регулируется передвижной манжетой, надетой на выходной патрубков бункера.

Производительность тарельчатого дозатора  $Q$  (т/ч) определяется по формуле:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi \cdot h^3 \cdot n}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot \left( R - \frac{h}{3 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right) \quad (11)$$

где  $n$  — частота вращения тарелки,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$h$  — высота подъема манжеты над тарелкой, м;

$R$  — радиус манжеты, м;

$R_1$  — наружный радиус вращения лопастей, м;

$\varphi$  — угол естественного откоса продукта в движении.

Частоту вращения тарелки  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) определяем по формуле:

$$n \leq 30 \cdot \sqrt{\frac{f}{R + \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi}}} \quad (12)$$

Принимаем частоту вращения тарелки меньше расчетной.

Наибольший радиус вращения частицы  $R_1$  (м) определяем по формуле:

$$R_1 = R + \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (13)$$

Максимальный радиус тарелки  $R_2$  (м) определяем по формуле:

$$R_2 = R_1 + \Delta \quad (14)$$

где  $\Delta$  — конструктивный запас, м;

Расстояние между центром тяжести радиального сечения кольца и осью вращения, при максимальной производительности, определяем по формуле:

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (15)$$

Мощность для привода тарельчатого дозатора  $N$  (кВт) определяем по формуле:

$$N = N_1 + (1 + f_2 \cdot \cos \beta) \cdot k \quad (16)$$

где  $f_2$  — коэффициент трения материала о скребок;

$\beta$  — угол установки скребка относительно плоскости сечения кольца материала, град;

$R$  — радиус манжеты, м;

$k$  — коэффициент, учитывающий другие вредные сопротивления ( $k = 1,5 \dots 2$ );

$N_1$  — мощность, необходимая для преодоления сопротивления от трения материала о тарелку, (кВт), определяем по формуле:

$$N_1 = \frac{P \cdot V_0}{102} \quad (17)$$

где  $V_0$  — скорость движения материала, сбрасываемого с тарелки, м/с.

$P$  — сила трения, возникающая при движении материала по тарелке, Н;

Сила трения  $P$ , возникающая при движении материала по тарелке, определяется по формуле:

$$P = F_0 \cdot L \cdot p \cdot g \cdot f \quad (18)$$

где  $L$  — путь перемещения материала, м;

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

$f$  — коэффициент трения материала о тарелку;

$F_0$  — площадь поперечного сечения кольца сбрасываемого продукта ( $\text{м}^2$ ), определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{h^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (19)$$

Скорость движения материала  $V_0$  (м/с), сбрасываемого с тарелки, определяется по формуле:

$$V_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot n}{60} \quad (20)$$

Разработка кинематической схемы тарельчатого дозатора, выбор и расчет элементов конструкции привода производятся по методике, используемой для расчета барабанного дозатора.

## Практическая часть

### Расчет объемного дозатора барабанного типа

Рассчитать барабанный дозатор макаронного пресса для дозирования муки.

Производительность – регулируемая от 0 до 300 кг/ч, мука хлебопекарная, высший сорт. Емкость мучного бункера – 30 кг.

Определить геометрические и кинематические параметры дозатора.

Структурно-механические свойства муки:

При влажности муки  $W=13...14\%$

1) объемная масса хлебопекарной муки составляет  $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$ ; [4]

2) угол естественного откоса равен  $\varphi_0 = 47^\circ$ . [4]

Выбираем схему барабанного дозатора, которая представлена на рис. 1.

Дозатор состоит из приемного мучного бункера и собственно дозатора. Мучной бункер имеет ворошитель, для разрушения образующихся сводов. Рабочим органом дозатора является барабан с канавками. Для очистки поверхности барабана служит щетка. Для регулирования частоты вращения барабана, а соответственно, и производительности используем кулачково-храповой регулятор оборотов вала барабана.

Исходя из литературных данных и физико-механических свойств муки, максимальная частота вращения вала барабана дозатора должна быть

$$n_b < 45 \text{ мин}^{-1}$$

Исходя из конструкции и производительности дозатора, задаемся геометрическими размерами барабана.

Диаметр барабана –  $D_b = 0,075 \text{ м}$ .

Длина канавок барабана –  $l = 0,1 \text{ м}$ .

Число канавок –  $z = 8$ .

Радиус проточки канавки барабана –  $r = 0,0135 \text{ м}$ .

8

$$l_1 = 0,01745 \cdot r \cdot a_1 = 0,01745 \cdot 13,5 \cdot 157,76 = 37,16 \text{ мм}$$

$$l_2 = 0,01745 \cdot R \cdot a_2 = 0,01745 \cdot 37,5 \cdot 44,47 = 29,1 \text{ мм}$$

Площадь отдельных сегментов определяем по формуле:

$$F = 0,5 \cdot [r \cdot l - c \cdot (r - h)] \quad (24)$$

Площадь поперечного сечения канавки определяем по формуле:

$$F_c = F_1 + F_2 \quad (25)$$

Подставим в формулу (25) значения площадей отдельных сегментов:

$$F_c = \frac{1}{2} [r \cdot l_1 - c \cdot (r - h_1)] + \frac{1}{2} [R \cdot l_2 - c \cdot (R - h_2)] =$$

$$= \frac{1}{2} [13,5 \cdot 37,16 - 24,49 \cdot (13,5 - 10,896)] +$$

$$+ \frac{1}{2} [37,5 \cdot 29,1 - 24,49 \cdot (37,5 - 2,604)] = 337,268 \text{ мм}^2$$

Отсюда площадь поперечного сечения канавки равна:

$$F_c = 3,37 \cdot 10^4 \text{ м}^2$$

Определяем частоту вращения вала барабана  $n_b$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) из формулы (2), зная все необходимые параметры и задаваясь коэффициентом заполнения канавок ( $k = 0,8$ ).

$$n_b = \frac{300}{60 \cdot 3,37 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 550} = 42,16 \text{ мин}^{-1}$$

Принимаем частоту вращения вала барабана:

$$n_b = 43 \text{ мин}^{-1}$$

Предлагаемый кулачково-храповой механизм при повороте приводного вала на  $360^\circ$  позволяет изменять угол поворота барабана. Таким образом, барабан совершает неполный оборот и соответственно при этом уменьшается производительность дозатора по муке (уменьшение угла поворота барабана на один градус уменьшает производительность на  $0,833 \text{ кг/ч}$ ), то есть имеется возможность регулировать подачу муки на замес теста.

Выбираем геометрические размеры ворошителя из расчета, что бункер вмещает 30 кг хлебопекарной муки.

Диаметр ротора  $D_p = 390 \text{ мм}$ ; длина лопастей  $L_x = 240 \text{ мм}$ ; число лопастей  $z = 8$  шт.; ширина лопасти  $b = 8 \text{ мм}$ .

Форму нижней части бункера выбираем по форме ворошителя, вид и размеры представлены на рис. 3. Длина выпускного отверстия равна длине барабана, а ширина равна радиусу барабана.

Объем бункера  $V$  состоит из объемов нижней  $V_1$  и верхней

9

$V_2$  частей бункера.

То есть  $V = V_1 + V_2$  и составляет:

$$V = \frac{Q_m}{\rho \cdot \psi} = \frac{30}{550 \cdot 0,8} = 0,0682 \text{ м}^3$$

где  $\psi$  - коэффициент заполнения бункера мукой, принимаем  $\psi = 0,8$

Объем нижней части бункера  $V_1$  равен:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot L_z}{8} = \frac{3,14 \cdot 0,39^2 \cdot 0,24}{8} = 0,0682 \text{ м}^3$$

Объем верхней части бункера  $V_2$  равен:

$$V_2 = V - V_1 = 0,0682 - 0,0143 = 0,0539 \text{ м}^3$$

Тогда высота прямоугольной части бункера равна:

$$h_3 = \frac{V_2}{D \cdot L_z} = \frac{0,0539}{0,39 \cdot 0,24} = 0,576 \text{ м}$$

Принимаем  $h_3 = 0,580 \text{ м} = 580 \text{ мм}$

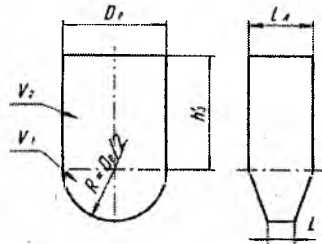


Рисунок 3. Внешний вид мучного бункера

Частоту вращения ворошителя принимаем:

$$n_{\text{вор}} = \frac{n_6}{2} = \frac{43}{2} = 21,5 \text{ мин}^{-1}$$

Определяем мощность для привода дозатора по формуле (5).

Определим силу для преодоления сопротивления внутреннего трения, считая, что она равна:

$$P = p \cdot F_1 \cdot \text{tg} \varphi_0 = V \cdot p \cdot \text{tg} \varphi_0 = 0,05454 \cdot 550 \cdot \text{tg} 47^\circ = 32,17 \text{ кгс}$$

Мощность для привода барабана дозатора  $N_6$  (кВт) определяем по формуле (3), зная все необходимые параметры, а также принимаем  $k_1$  порошкообразных продуктов ( $k_1 = 1,0$ ) и  $k_2 = 1,25$ .

$$N_6 = 0,0005 \cdot 32,17 \cdot 0,075 \cdot 43 \cdot 1 \cdot 1,25 = 0,065 \text{ кВт}$$

Мощность для привода ворошителя  $N_e$  (кВт) определяем по формуле (4), принимая, что: число лопастей  $z = 8$  шт.; коэффициент

10

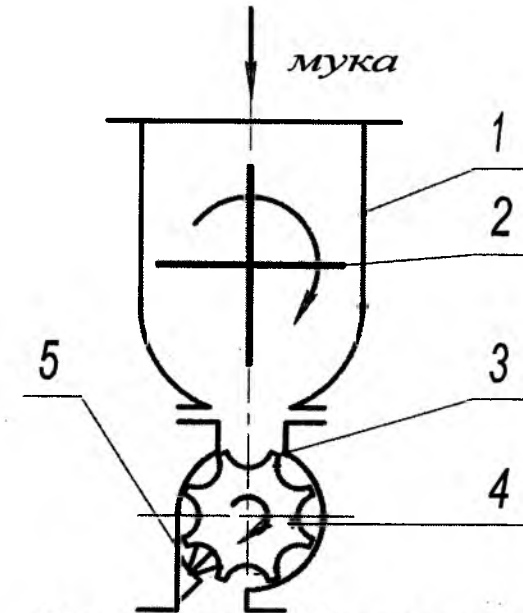


Рисунок 1. Схема барабанного дозатора:

1 – мучной бункер; 2 – ворошитель; 3 – корпус дозатора; 4 – барабан; 5 – щетка

Рассчитаем площадь поперечного сечения канавки барабана, профиль сечения канавки выбираем в зависимости от параметров хлебопекарной муки в виде сегмента, сечение барабана показано на рис. 2.

Площадь поперечного сечения канавки определяем математическим способом, она равна сумме площадей сегментов с радиусами  $r$  и  $R = D/2$ .

$$S = 2 \cdot \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)} \quad (21)$$

где  $r = 13,5 \text{ мм}$ ;  $R = 37,5 \text{ мм}$ ;

$$h_2 = r - h_1 = (13,5 - h_1)$$

Подставляем значения радиусов и стрелок в формулу (21) и проводим преобразования:

$$2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot (2 \cdot r - h_1)} = \sqrt{h_2 \cdot (2 \cdot R - h_2)}$$

$$h_1 \cdot (2 \cdot 13,5 - h_1) = (13,5 - h_1) \cdot (2 \cdot 37,5 - 13,5 + h_1);$$

11

$$h_1 = 10,896 \text{ мм}$$

$$\text{Отсюда: } h_2 = (13,5 - h_1) = 13,5 - 10,896 = 2,604 \text{ мм}$$

Длину хорды определяем по формуле (21):

$$c = 2 \cdot \sqrt{10,896 \cdot (2 \cdot 13,5 - 10,896)} = 26,49 \text{ мм.}$$

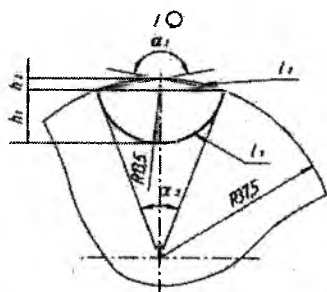
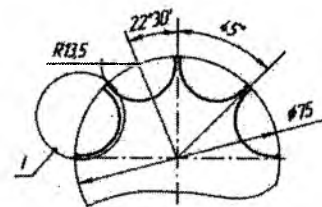


Рисунок 2. Схема поперечного сечения барабана

Величину центрального угла определяем из формулы:

$$c = 2 \cdot r \cdot \sin(\alpha/2) \quad (22)$$

$$\arcsin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = \frac{c}{2 \cdot r} = \frac{26,49}{2 \cdot 13,5} = 0,9812$$

Отсюда:

$$\frac{\alpha_1}{2} = 78,88^\circ \text{ или } \alpha_1 = 157,76^\circ$$

$$\arcsin\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) = \frac{c}{2 \cdot R} = \frac{26,49}{2 \cdot 37,5} = 0,3784$$

Отсюда:

$$\frac{\alpha_2}{2} = 22,24^\circ \text{ или } \alpha_2 = 44,47^\circ$$

Длину дуги соответствующих сегментов определяем по формуле:

$$l = 0,01745 \cdot r \cdot \alpha \quad (23)$$

12

Как видно из расчетов, выбранный мотор-редуктор удовлетворяет поставленным условиям.

Варианты аналогичных заданий приведены в табл. 1.

Таблица 1 Исходные данные для расчета барабанного дозатора

№	Вид продукта	Производительность, кг/ч	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град	Коэффициент трения по стали	Емкость мучного бункера, кг
1	Мука макаронная в/с	100	680	37...44	0,7	20
2	Мука макаронная в/с	200	680	37...44	0,7	25
3	Мука макаронная в/с	400	680	37...44	0,7	40
4	Мука хлебопекарная в/с	100	550	46...55	0,7	15
5	Мука хлебопекарная в/с	200	550	46...55	0,7	35
6	Мука хлебопекарная в/с	300	550	46...55	0,7	40
7	Пшеница	500	760	25...30	0,37	50
8	Пшеница	1000	760	25...30	0,37	100
9	Пшеница	1500	760	25...30	0,37	120
10	Рожь	600	730	26...32	0,37	70
11	Рожь	1100	730	26...32	0,37	110
12	Рожь	2000	730	26...32	0,37	150
13	Просо	400	850	27...33	0,34	35
14	Просо	700	850	27...33	0,34	45
15	Просо	900	850	27...33	0,34	55

13

### Расчет тарельчатого дозатора

Расчитать тарельчатый дозатор для дозирования хлебопекарной муки в/с.

Производительность – регулируемая от 100 до 400 кг/ч, емкость мучного бункера – 50 кг.

Определить геометрические и кинематические параметры дозатора.

Структурно-механические свойства муки:

При влажности муки  $W=13...14\%$

- 1) объемная масса хлебопекарной муки составляет  $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$ ; [4]
- 2) угол естественного откоса равен: в покое  $\varphi_0 = 55^\circ$  и в движении  $\varphi_1 = 0,35 \cdot \varphi_0 = 0,35 \cdot 55^\circ = 19,25^\circ$ ; [4]
- 3) Коэффициент трения муки по стали в покое  $f_1 = 0,7$  и в движении  $f_2 = 0,4$  [4]

Выбираем схему тарельчатого дозатора, которая представлена на рис. 5.

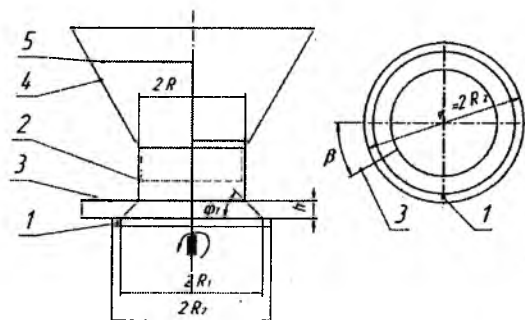


Рисунок 5. Схема тарельчатого дозатора:

1 - тарелка; 2 - манжета; 3 - скребок; 4 - бункер;

5 - ворошитель;  $R$  - радиус манжеты;  $R_1$  - наибольший радиус вращения частицы;  $R_2$  - наибольший радиус тарелки;  $h$  - высота подъема манжеты над тарелкой

Производительность дозатора можно регулировать изменением частоты вращения тарелки, либо изменением  $h$  высоты подъема манжеты над тарелкой, при помощи винтового механизма.

В нашем случае применяем второй способ регулирования производительности тарельчатого дозатора. Конструктивно задаемся высотой  $h$  (м) подъема манжеты для максимальной производительности

сопротивления для муки  $k_2 = 5000$ ; высота лопасти  $h = L_x = 0,24$  м; угловая скорость ворошителя:

$$\omega = \pi \cdot n_{\text{вор}} / 30 = 3,14 \cdot 21,5 / 30 = 2,25 \text{ с}^{-1},$$

наружный радиус вращения лопастей:

$$R_1 = D_p / 2 = 0,39 / 2 = 0,195 \text{ м};$$

внутренний радиус вращения лопастей:

$$r_1 = R_1 - b = 0,195 - 0,008 = 0,187 \text{ м};$$

$$N_e = 8 \cdot \frac{5000 \cdot 2,25^3 \cdot 0,24}{408} \cdot (0,195^4 - 0,187^4) = 0,06 \text{ кВт}$$

Общая мощность на валу барабанного дозатора  $N_d$  (кВт) определяется по формуле (5):

$$N_d = 0,065 + 0,6 = 0,125 \text{ кВт}$$

Для обеспечения вращения барабана дозатора и ворошителя с соответствующей частотой  $n_5 = 43 \text{ мин}^{-1}$  и  $n_{\text{вор}} = 21,5 \text{ мин}^{-1}$  разработаем кинематическую схему привода барабанного дозатора. Кинематическая схема представлена на рис. 4.

В качестве привода применяем мотор-редуктор типа МПз2 с номинальной частотой вращения выходного вала  $n = 22,4 \text{ мин}^{-1}$ . Крутящий момент от мотор-редуктора через цепную передачу передается на приводной вал дозатора, а с этого вала также через цепную передачу на вал ворошителя.

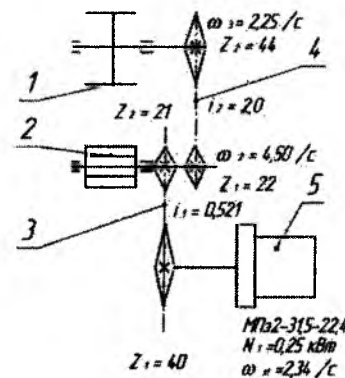


Рисунок 4. Кинематическая схема барабанного дозатора:

1 - ворошитель; 2 - вал барабана; 3 - первая цепная передача; 4 - вторая цепная передача; 5 - мотор - редуктор



Общее передаточное число  $i$  в нашем случае состоит из произведения передаточного числа первой цепной передачи  $i_1$  и передаточного числа второй цепной передачи  $i_2$  и представлено измененной для нашего случая формулой (7):

$$i = i_1 \cdot i_2$$

Тогда общее передаточное число привода  $i$  определяем по формуле (6):

$$i = \frac{22,4}{21,5} = 1,042$$

Передаточное число второй цепной передачи, согласно технологическим расчетам, равно  $i_2 = 2$ , тогда передаточное число первой цепной передачи равно:

$$i_1 = \frac{i}{i_2} = \frac{1,042}{2} = 0,521$$

Цепные передачи рассчитываются по стандартной методике, представленной в курсе «Детали машин». Общий коэффициент полезного действия можно определить по формуле (8):

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,95 \cdot 0,95 = 0,9025$$

где  $\eta_1 = \eta_2$  — КПД цепной передачи;  $\eta_1 = \eta_2 = 0,95$ .

Установленную мощность привода  $N_{np}$  (кВт) определяем по формуле (9):

$$N_{np} = \frac{0,125}{0,9025} = 0,139 \text{ кВт}$$

Определяем крутящий момент  $M_{кр}$  (Н·м) на выходном валу мотор-редуктора по формуле (10):

$$M_{кр} = \frac{N_{np} \cdot 30 \cdot 1000}{\pi \cdot n}$$

$$M_{кр} = \frac{0,139 \cdot 30 \cdot 1000}{3,14 \cdot 22,4} = 59,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где  $N_{np}$  — мощность на рассчитываемом валу, Вт;

$n$  — скорость вращения выходного вала.

Выбираем для привода барабанного дозатора по справочнику [3] мотор-редуктор МПз2-31,5-22,4 ЦТ2 ГОСТ 21356-75, электродвигатель 4АХ71В8РЗ с мощностью  $N_{эд} = 0,25 \text{ кВт}$ , частотой вращения  $n_{эд} = 690 \text{ мин}^{-1}$ , допускаемый крутящий момент на выходном валу  $M_{кр} = 106 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

16

и радиусом  $R$  (м) манжеты, соответственно:

$$h = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м} \text{ и } R = 85 \text{ мм} = 0,085 \text{ м}$$

Из формулы производительности (11) определяем рабочую  $n_p$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) частоту вращения тарелки, зная остальные параметры:

$$n_p = \frac{Q \cdot \text{tg} \varphi_1}{1000 \cdot 60 \cdot \pi \cdot h^2 \cdot \left(R + \frac{h}{3 \cdot \text{tg} \varphi_1}\right)} = \frac{400 \cdot \text{tg} 19,25}{1000 \cdot 60 \cdot 3,14 \cdot 0,02^2 \cdot \left(0,085 + \frac{0,02}{3 \cdot \text{tg} 19,25}\right)} =$$

Принимаем  $n_p = 18 \text{ мин}^{-1}$

Максимальную частоту вращения тарелки  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) определяем по формуле (12) и сравниваем с рабочей частотой вращения. Рабочая частота вращения тарелки должна быть меньше максимальной:

$$n \leq 30 \cdot \sqrt{\frac{0,7}{0,085 + \frac{0,02}{\text{tg} 19,25}}} = 65 \text{ мин}^{-1}$$

$n_p = 18 \text{ мин}^{-1} < n = 66,5 \text{ мин}^{-1}$ , следовательно, условие выполняется.

Наибольший радиус вращения частицы  $R_1$  (м) определяем по формуле (13):

$$R_1 = 85 + \frac{20}{\text{tg} 19,25} = 142,27 \text{ мм}$$

Максимальный радиус тарелки  $R_2$  (м) определяем по формуле (14), принимая конструктивный запас  $\Delta = 7,73 \text{ мм}$ . Тогда:

$$R_2 = 142,27 + 7,73 = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$$

Расстояние между центром тяжести радиального сечения кольца и осью вращения, при максимальной производительности, определяем по формуле (15):

$$R_0 = 85 + \frac{20}{3 \cdot \text{tg} 19,25} = 104 \text{ мм} = 0,104 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения кольца сбрасываемого продукта  $F_0$  ( $\text{м}^2$ ) при максимальной производительности дозатора определяется по формуле (19):

$$F_0 = \frac{20^2}{2 \cdot \text{tg} 19,25} = 572,71 \text{ мм} = 5,73 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

17

Скорость движения материала, сбрасываемого с тарелки  $V_0$  (м/с), определяем по формуле (20):

$$V_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,104 \cdot 18}{60} = 0,196 \text{ м/с}$$

Форму бункера выбираем в виде перевернутого усеченного конуса с углом наклона образующей, для лучшего ссыпания  $\alpha > \varphi_0$ , то есть больше угла естественного откоса, принимаем  $\alpha = 60^\circ$ , вид и размеры представлены на рис. 6.

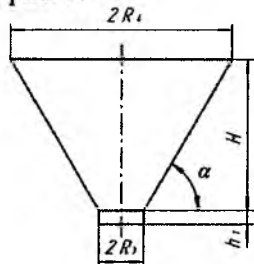


Рисунок 6. Внешний вид мучного бункера

Объем бункера  $V$  ( $\text{м}^3$ ) определяем из выражения:

$$V = \frac{Q_{\text{н}}}{\rho \cdot \psi} = \frac{50}{550 \cdot 0,8} = 0,1136 \text{ м}^3$$

где  $\psi$  - коэффициент заполнения бункера мукой, принимаем  $\psi = 0,8$ .

Геометрические размеры бункера определяем по формуле:

$$V = (R_4^2 + R_3^2 + R_4 + R_3) \cdot \frac{\pi \cdot H}{3} \quad (26)$$

где  $H$  - высота усеченного конуса, м; можно представить как  $H = \text{tga} \cdot (R_4 - R_3)$

$R_4$  - радиус верхнего основания усеченного конуса, м;

$R_3$  - радиус нижнего основания усеченного конуса, м;

Отсюда:

$$V = (R_4 + R_3 + R_4 \cdot R_3) \cdot \frac{\pi \cdot (R_4 + R_3) \cdot \text{tga}}{3}$$

Радиус нижнего основания усеченного конуса  $R_3$  выбираем меньше радиуса манжеты  $R$ , чтобы манжета могла свободно перемещаться по цилиндру нижнего основания усеченного конуса,

18

принимаем:  $R_3 = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$ . Подставляем известные значения в формулу (26) и решаем данное уравнение относительно  $R_4$ :

$$V = (R_4^2 + 0,08^2 + R_4 + 0,08) \cdot \frac{3,14 \cdot (R_4 - 0,08) \cdot \text{tg}60}{3};$$

$$0,1136 = (R_4^2 + 0,0064 + R_4 + 0,08) \cdot (1,81R_4 - 0,145);$$

$$0,1136 - 0,0009 = 1,81R_4^2;$$

$$R_4 = \sqrt{\frac{0,1127}{1,81}} = 0,396 \text{ м}$$

Тогда высота усеченного конуса равна:

$$H = \text{tg}60 \cdot (0,396 - 0,08) = 0,547 \text{ м}$$

Определим путь перемещения материала по тарелке  $L$  (м) из треугольника ABC, принимаем конструктивно угол установки скребка  $\beta = 30^\circ$ . Схема перемещения материала по тарелке представлена на рис.

7

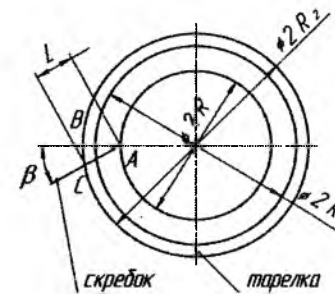


Рисунок 7. Схема перемещения материала по тарелке:

$L$  - путь перемещения материала;  $\beta$  - угол установки скребка относительно плоскости сечения кольца материала.

Из треугольника ABC определим путь перемещения материала по тарелке  $L$ :

$$L \approx AC = AB \cdot \cos \beta = (R_2 - R) \cdot \cos \beta = (0,15 - 0,085) \cdot \cos 30 = 0,0563 \text{ м}$$

Силу трения  $P$ , возникающую при движении материала по тарелке, определяем по формуле (36), при следующих данных: путь перемещения материала  $L = 0,0563 \text{ м}$ ; коэффициент трения материала о тарелку  $f = 0,7$ ; объемная масса материала  $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$ .

$$P = 5,73 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0563 \cdot 550 \cdot 9,81 \cdot 0,7 = 0,122 \text{ кэс}$$

19

Мощность потребную для преодоления сопротивления от трения материала о тарелку  $N_1$  (кВт), определяем по формуле (17), используя ранее рассчитанные параметры  $P$  и  $V_0$ :

$$N_1 = \frac{0,122 \cdot 0,196}{102} = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ кВт}$$

Мощность для привода тарельчатого дозатора  $N$  (кВт) определяем по формуле (16), зная мощность  $N_1$ , угол установки скребка  $\beta$  и принимая коэффициент трения материала о скребок  $f_2=0,65$ , коэффициент, учитывающий другие вредные сопротивления  $k=2,0$ .

$$N = 2,34 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 0,65 \cdot \cos 30) \cdot 2 = 0,007 \text{ кВт}$$

Мощность для привода ворошителя  $N_g$  (кВт) определяем по формуле (4), принимая, что: так как практически лопасти трапециевидные, то для удобства расчета заменяем их плоскими лопастями, число условных лопастей  $z = 2$  шт.; коэффициент сопротивления для муки  $k_2 = 5000$ ; высота лопасти  $h_1 = 0,04$  м; угловая скорость ворошителя

$\omega = \pi \cdot n_p / 30 = 3,14 \cdot 18 / 30 = 1,88 \text{ с}^{-1}$ ; наружный радиус вращения лопастей  $R_5 = 0,25$  м; внутренний радиус вращения лопастей равен половине диаметра вала, на котором жестко крепятся тарелка и ворошитель, принимаем  $r_1 = 0,02$  м.

$$N_g = 2 \cdot \frac{5000 \cdot 1,88^3 \cdot 0,04}{406} (0,25^4 - 0,02^4) = 0,0254 \text{ кВт}$$

Общая мощность на валу тарельчатого дозатора  $N_d$  (кВт) определяется по формуле (5).

$$N_d = 0,007 + 0,0255 = 0,0324 \text{ кВт}$$

Для обеспечения вращения тарелки дозатора и ворошителя с соответствующей частотой  $n_p = n_{доп} = 18 \text{ мин}^{-1}$  разработаем кинематическую схему привода тарельчатого дозатора. Кинематическая схема представлена на рис. 8.

В качестве привода применяем электродвигатель с частотой вращения  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ , ременную передачу и редуктор.

Крутящий момент от электродвигателя через ременную передачу передается на быстроходный вал редуктора, а с тихоходного вала редуктора через муфту передается на вал, где жестко закреплены тарелка и ворошитель.

Общее передаточное число  $i$  в нашем случае состоит из

20

произведения передаточного числа ременной передачи  $i_1$  и передаточного числа редуктора  $i_2$  представлено измененной для нашего случая формулой (7):

$$i = i_1 \cdot i_2$$

Тогда общее передаточное число привода  $i$  определяем по формуле (6):

$$i = \frac{1500}{18} = 82,2$$

Передаточное число редуктора по нормальному ряду принимаем  $i_2 = 31,5$ , тогда передаточное число ременной передачи равно:

$$i_1 = \frac{i}{i_2} = \frac{82,2}{31,5} = 2,61$$

Ременная передача рассчитывается по стандартной методике, представленной в курсе «Детали машин».

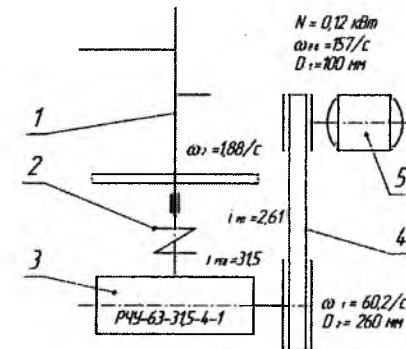


Рисунок 9. Кинематическая схема тарельчатого дозатора:

- 1 - вал ворошителя и тарелки; 2 - муфта; 3 - редуктор;
- 4 - ременная передача; 5 - электродвигатель

Общий коэффициент полезного действия можно определить по формуле (8):

$$N_{np} = \frac{0,0324}{0,57} = 0,057 \text{ кВт}$$

Выбираем для привода тарельчатого дозатора по справочнику [3] электродвигатель 4АА56А4У3 ГОСТ 19523-74 с мощностью  $N_{эд} = 0,12 \text{ кВт}$ , частотой вращения  $n_{эд} = 1500 \text{ мин}^{-1}$ . Определяем крутящий момент  $M_{np}$  (Н·м) на выходном валу редуктора по формуле

21

(10):

$$M_{\text{зр}} = \frac{30 \cdot N_{\text{зд}} \cdot \eta}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 0,12 \cdot 1000}{3,14 \cdot 18} = 63,66 \text{ кВт}$$

где  $n$  – скорость вращения выходного вала.

По справочнику [3] выбираем универсальный червячный редуктор РЧУ-63-31,5-4-1 ГОСТ 13563-68, крутящий момент на выходном валу редуктора  $M_{\text{зр}} = 100$  Н·м. Как видно из расчетов, выбранный редуктор удовлетворяет поставленным условиям. Варианты аналогичных заданий приведены в табл. 2.

Таблица 2 Исходные данные для расчета тарельчатого дозатора

№	Вид продукта	Производительность, кг/ч	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град.	Коэффициент трения	Емкость бункера, кг
1	Мука хлебопекарная, в/с	450	550	46...55	0,7	45
2	Мука хлебопекарная, в/с	350	550	46...55	0,7	35
3	Мука хлебопекарная, в/с	150	550	46...55	0,7	30
4	Мука мясокостная	600	675	37...40	0,65	70
5	Мука мясокостная	500	675	37...40	0,65	50
6	Мука мясокостная	400	675	37...40	0,65	45
7	Кормовой мел	180	950	40...50	0,9	30
8	Кормовой мел	230	950	40...50	0,9	40
9	Кормовой мел	380	950	40...50	0,9	35
10	Отруби	750	300	70...75	0,8	80
11	Отруби	650	300	70...75	0,8	65
12	Отруби	550	300	70...75	0,8	60
13	Поваренная соль	400	1400	40...50	0,52	40
14	Поваренная соль	600	1400	40...50	0,52	55
15	Поваренная соль	800	1400	40...50	0,52	85

22

### Задание

1. По представленным вариантам выполнить расчет основных параметров машин для дозирования сыпучих продуктов.
2. Выполнить рисунки кинематических схем барабанного и тарельчатого дозаторов.
3. По кинематическим схемам выполнить расчет привода.

### Содержание отчета

Отчет о работе включает в себя:

- цель работы и задачи;
- теоретическую часть;
- расчетную часть;
- графическую часть;
- вывод.

### Контрольные вопросы

1. Для каких целей используется процесс дозирования?
2. Какие существуют конструкции объемных дозаторов непрерывного действия?
3. Что является основным рабочим органом барабанного дозатора, и каков принцип его работы?
4. Что является основным рабочим органом тарельчатого дозатора, и каков принцип его работы?

### Список использованных источников

1. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования / В.И. Соколов // М.: Машиностроение, 1970. 424 с.
2. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств/ под ред. А.Я. Соколова // М.: Пищепромиздат, 1960. 465 с.
3. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т.- 5-е изд., перераб. и доп./ В.И. Ануриев // М.: Машиностроение, 1981. Т. 3. 557 с.
4. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии) / В.А. Бутковский, С.М. Мельников // М.: Агропромиздат, 1989. 464 с.

23

Учебное издание

Гайсин И.А., Башмаков Д.А., Хазиев М.Л.

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ  
ОБЪЕМНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ**

**Методические указания**

Главный редактор *Д.К. Мухамадеева*  
Технический редактор *Ф.А. Амирзянов*  
Корректор *З.Г. Сафаралеева*

Отпечатано в Издательско – полиграфическом центре  
Набережночелнинского института  
Казанского (Приволжского ) федерального университета

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Формат 60x84/16. Печать ризографическая  
Бумага офсетная. Гарнитура « Times New Roman»  
Усл. п. л. \_\_\_\_\_. Уч.- изд. л. 6,7  
Тираж 50 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19  
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail : [ic-nchi-kpfu@mail.ru](mailto:ic-nchi-kpfu@mail.ru)