

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

# **РАСЧЕТ ШТИФТОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к практическим занятиям и лабораторным работам по дисциплинам  
«Технологическое оборудование» и «Расчет и конструирование»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008  
ИПК ГОУ ОГУ

УДК 621.926 (076.5)

ББК 36.81 – 5я 73

К 24

Авторы:

Коротков В.Г., Кобылкин Д.С., Ганин Е. В., Габзалилова Ю.И.

Рецензент - доктор технических наук, профессор В.Ю. Полищук

**К 24**

**Коротков, В. Г.**

**Расчет штифтового измельчителя : методические указания к практическим занятиям и лабораторным работам по дисциплинам «Технологическое оборудование» и «Расчет и конструирование» / В. Г. Коротков, Д. С. Кобылкин, Е. В. Ганин, Ю. И. Габзалилова – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 30 с. ISBN**

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных и практических работ по дисциплинам «Технологическое оборудование предприятий отрасли», «Расчет и конструирование» специальности 260602 Пищевая инженерия и 260601 Машины и аппараты пищевых производств, а также могут использоваться в качестве вспомогательного материала при курсовом и дипломном проектировании.

ББК 36.81 – 5я 73

ISBN

©Коротков В.Г.,  
Кобылкин Д.С.,  
Ганин Е.В.,  
Габзалилова Ю.И, 2008  
©ИПК ГОУ ОГУ, 2008

## Содержание

Введение .....	4
1 Цель работы.....	5
2 Общие положения .....	5
3 Технологический расчет .....	8
3.1 Теоретическая часть.....	8
3.2 Расчетная часть .....	10
3.2.1 Расчет производительности штифтового измельчителя.....	10
3.2.2 Энергетический расчет.....	11
4 Тепловой расчет.....	12
5 Конструкторский расчет.....	14
5.1 Теоретическая часть.....	14
5.1.1 Требования, предъявляемые к рабочим узлам измельчителей.....	14
5.1.2 Расчеты деталей измельчающих машин.....	14
5.1.3 Определение расчетных нагрузок.....	16
5.2 Расчетная часть.....	18
5.2.1 Прочностной расчет диска дезинтегратора.....	18
5.2.2 Прочностной расчет пальца дезинтегратора.....	25
6 Порядок оформления отчета .....	26
7 Необходимые знания для защиты лабораторной работы.....	27
8 Вопросы для самоконтроля знаний к лабораторной работе .....	27
9 Расчетно-практические задания.....	28
Список использованных источников .....	30

## Введение

Первая машина ударного действия, получившая название дезинтегратора (раздробителя), была изобретена в 1862 г. англичанином Карром и предназначалась для измельчения твердых тел. В 1871 г. автор предложил использовать эту машину для измельчения зерна. Дезинтегратор в 1878 г. был установлен на мельнице в Париже. Машина состояла из двух металлических дисков, на которых по пяти концентрическим окружностям были укреплены стальные штифты (пальцы, или билы) диаметром 10 мм и длиной 23,5 мм.

Подлежащий измельчению продукт попадал между, движущимися навстречу друг другу штифтами. Продвигаясь от центра к периферии, частицы многократно ударялись о пальцы и разрушались, при этом интенсивность разрушения нарастала, поскольку шаг между пальцами уменьшался, а окружная скорость их возрастала.

В 1881 г. Нагель и Кемп модернизировали дезинтегратор и предложили его использовать в качестве разрыхлителя (названного ими дисмембратором) спрессованной массы продуктов, выходящей из вальцовых станков.

В настоящее время данные виды измельчающих машин нашли применение в следующих отраслях пищевой промышленности: в мукомольной – для размола зерен хлебных злаков в муку; в комбикормовой – для размола зерна и сена в муку и различных добавок (соли, мела, микроэлементов, витаминов, антибиотиков) в порошок; в пищеконцентратной – для измельчения сухих овощей и фруктов, различных добавок (сахара, соли) в порошок; в бродильной – для дробления ячменя и истирания картофеля; в жиродобывающей – для измельчения масличных семян; в кондитерской – для размола жирсодержащих полуфабрикатов (какао крупки, ядер орехов и миндаля, шоколадных и ореховых масс), сахарного песка в пудру, отходов производства; в хлебопекарной – для дробления отходов и брака.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы в ходе которой приобретаются:

– теоретические знания, дающие представления о процессе измельчения и измельчающих машинах;

– навыки расчета измельчителей ударно-стирающего действия

Полученные навыки и знания позволяют конструировать машины ударно-стирающего действия при заданных технологических параметрах.

## 1 Цель работы

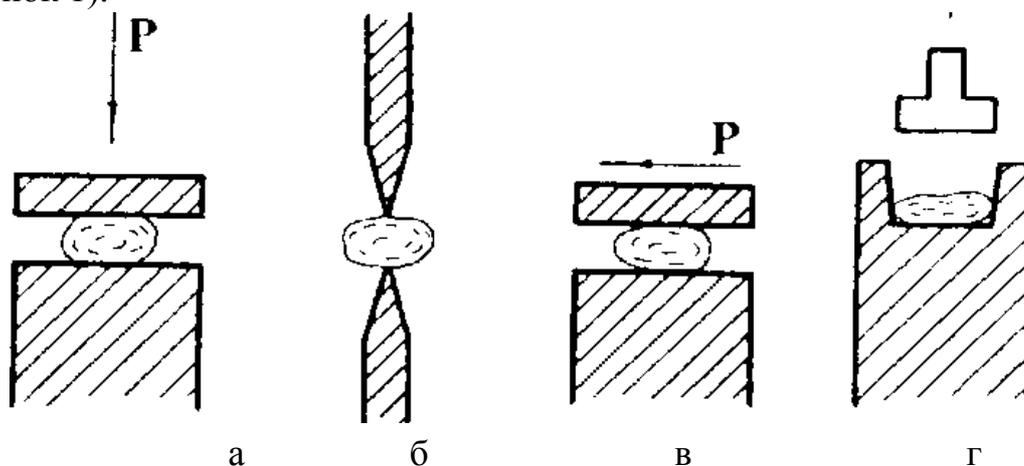
Получить теоретические представления о процессе измельчения твердых материалов, знание об устройстве и принципе работы измельчителей ударно-истирающего действия; знать виды расчетов; выполнить расчет штифтовой дробилки.

## 2 Общие положения

Измельчением называется процесс уменьшения размеров кусков материала путем разрушения их под действием внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления, которыми связаны между собой частицы твердого материала [5].

При дроблении куски твердого материала сначала подвергаются объемной деформации, а затем разрушаются по ослабленным дефектами (макро – и микротрещинами) сечениям с образованием новых поверхностей.

Дробление твердых и хрупких материалов производят раздавливанием, раскалыванием и ударом, твердых и вязких – раздавливанием и истиранием (рисунок 1).



а – раздавливание; б – раскалывание; в – истирание; г – удар  
Рисунок 1 – Способы измельчения материалов

В большинстве случаев эти виды воздействия на материал используют комбинированно; при этом обычно основное значение имеет один из них, что обусловлено конструкцией машины, применяемой для измельчения.

По основному способу механического воздействия на материал измельчающие машины можно разделить на раскалывающие, раздавливающие, истирающе-раздавливающие, ударные, ударно-истирающие и коллоидные измельчители.

В зависимости от конструкции различают щековые, конусные, валковые и молотковые дробилки, дезинтеграторы и дисмембраторы (штифтовые),

барабанные, кольцевые (ролико-маятниковые), шаровые, вибрационные и струйные мельницы [6].

В пищевой промышленности применяются следующие виды ударных машин: молотковые дробилки, дисмембраторы, дезинтеграторы, конусные дробилки, многоступенчатые дисковые мельницы.

Штифтовые мельницы имеют штифты, расположенные на одном или двух вращающихся дисках.

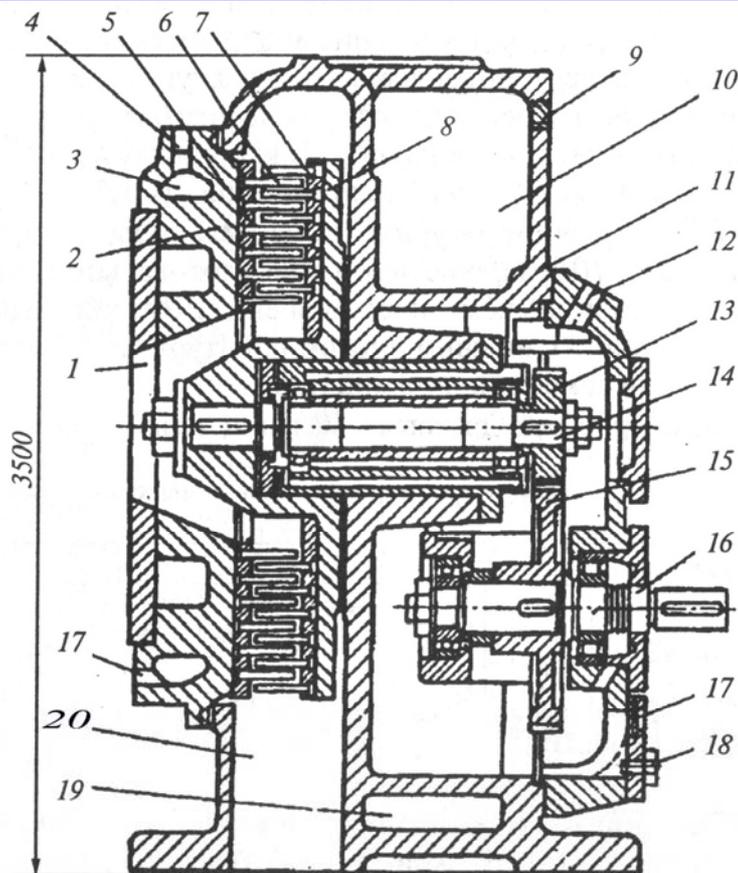
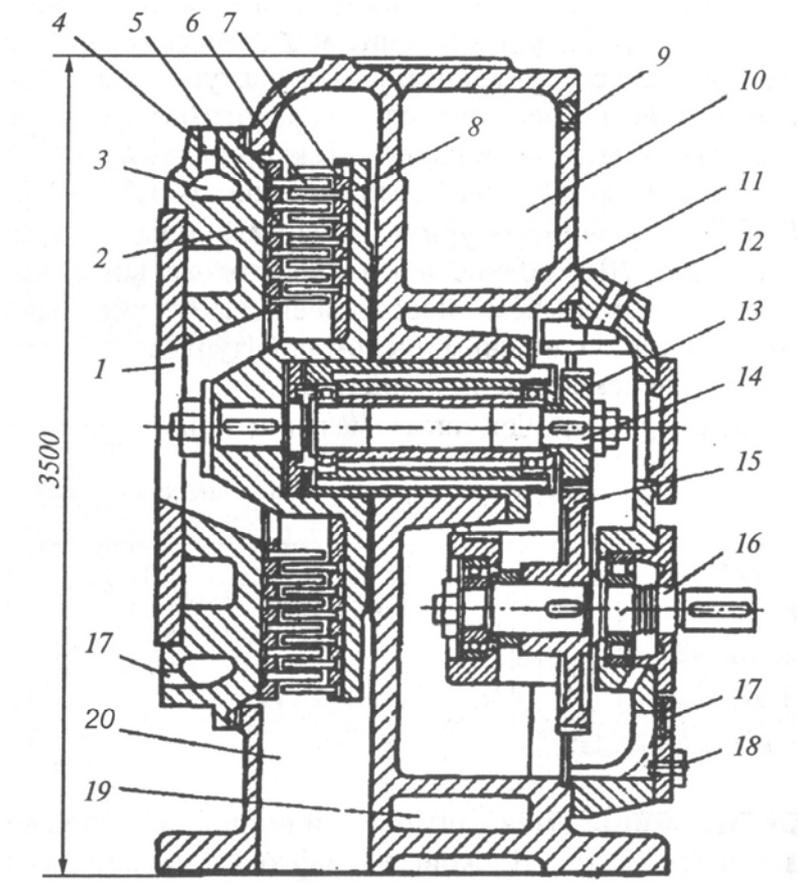
Дисковые штифтовые мельницы с одним вращающимся диском называются **дисмембраторами**. Штифтовые мельницы с двумя вращающимися дисками называются **дезинтеграторами** [2, 8]. Вследствие особых свойств этих веществ штифтовые мельницы непременно работают совместно с охлаждающими устройствами.

Дезинтеграторы применяют для измельчения зернового сырья в мукомольной промышленности вместо вальцевых станков, а также в спиртовой промышленности.

Представителем штифтовых мельниц является дисмембратор МАП-800 (рисунок 2). Конструкция дисмембратора применяется в кондитерском производстве для измельчения крупки в какао тертое и какао-жмыха в какао-порошок [3].

Штифтовая мельница работает следующим образом. Измельчаемый продукт (крупка или предварительно измельченный жмых) через коническое отверстие 1 крышки 2 поступает вместе с воздухом в пространство между дисками 5 и 7. На дисках по концентрическим окружностям закреплены штифты 6, и штифты одного диска располагаются в кольцевом пространстве другого диска. Диск 5 прикреплен к крышке 2. Диск 7 привернут к планшайбе 8, которая сидит на шпонке на валу 14. Частота вращения вала  $6000 \text{ мин}^{-1}$  вследствие наличия одноступенчатого редуктора из зубчатых колес 13 и 15. Зубчатое колесо 15 сидит на приводном валу 16 и имеет частоту вращения  $3000 \text{ мин}^{-1}$ . В пространстве между неподвижным и подвижным дисками продукт благодаря многократным ударам о штифты измельчается, а затем горячим выводится из дробилки через отверстие 20.

При измельчении выделяется большое количество теплоты, которое может ухудшить качество продукта и даже вызвать его возгорание. Поэтому крышка 2 и корпус 11 штифтовой мельницы имеют полости 3 и 10, в которые через отверстия 19 и 21 подается охлаждающая вода. Отводится вода через отверстия 4 и 9. Машинное масло для смазки мультипликатора и подшипников заливается через патрубок 12, а сливается через отверстие с пробкой 18. Над пробкой расположено смотровое окно 17.



1—отверстие; 2—крышка; 3—полости, 4—отверстие; 5—диск; 6—штифты; 7— диск;  
 8—отверстие; 9—отверстие; 10—полости; 11—корпус; 12—патрубок; 13—зубчатое

колесо; 14–вал; 15–зубчатое колесо; 16–вал; 17–смотровое окно; 18– отверстие с пробкой; 19–отверстие; 20–отверстие; 21–отверстие

Рисунок 2 – Дисмембратор МАП-800

В последние годы в США провели испытания дисмембратора «Симпактор» фирмы «Стюртевант», который по своему технологическому эффекту превзошел вальцовый станок при измельчении мелкой крупки и дунстов. Машина имеет ротор с вертикальной осью вращения и тремя концентрическими рядами штифтов из нержавеющей стали. На внутренней стороне статора «Симпактора» установлены два ряда неподвижных штифтов. Продукт, поступая на диск ротора через центральное отверстие, под действием центробежной силы отбрасывается и попадает между движущимися штифтами ротора и неподвижными штифтами статора. Одновременно с продуктом в машину поступает воздушный поток, отсасываемый через трубу, расположенную в верхней части измельчителя. Процесс измельчения в «Симпакторе» можно регулировать, не отключая машины, увеличивая или уменьшая количество неподвижных штифтов. Измельчитель дает повышенный выход муки и снижает нагрузку на последующие системы. Его используют вместо вальцов с рифленой поверхностью [2].

### 3 Технологический расчет

#### 3.1 Теоретическая часть

Производительностью машины называется количество продукции, выпущенной ею в единицу времени. Различают три вида производительности машин: действительную (фактическую)  $\Pi$ , теоретическую (выпускная способность)  $\Pi'$  и технологическую (идеальную)  $\Pi''$  [4].

Действительная производительность ( $\Pi$ ) – это то реальное количество продукции, которое машина выдает в среднем за единицу времени в условиях ее эксплуатации в течение смены, включающей различного рода внецикловые потери – наладку машины, установку и смену инструмента, простои, ремонт механизмов и узлов, заправку машины материалами. Фактическая производительность определяется по формуле

$$\Pi = n / T_{см} = n / (T_m + T_{II}) = n / (\sum_1^n T_p + T_{II}) = 1 / (T_p + T_{II} / n) = 1 / (T_p + t_{отн}) \quad (3.1)$$

где  $n$  – количество рабочих циклов;

$T_{см}$  – длительность смены, с;

$T_m$  – длительность работы машины во время смены, с;

$T_{II}$  – длительность простоев, с;

$T_p$  – время рабочего цикла, с;

$t_{отн}$  – относительное время простоев.

Теоретическая производительность ( $\Pi'$ ) – это количество продукции, которое может выпустить машина за единицу времени при бесперебойной и непрерывной работе. Теоретическая производительность при  $t_{отн} = 0$  определяется по формуле:

$$\Pi' = 1/T_p \quad (3.2)$$

где  $T_p$  – время рабочего цикла, с.

Теоретическая производительность машины в большинстве случаев для данной конструкции есть величина постоянная.

Показателем рациональной эксплуатации машины является коэффициент использования ее теоретической производительности  $\eta'$ , который вычисляется по формуле:

$$\eta' = \Pi / \Pi' = T_m / T_m + T_{\Pi} = T_p / T_p + \tau_{отн} = \frac{1}{1 + \tau_{отн} / T_p} < 1 \quad (3.3)$$

где  $\Pi$  – действительная (фактическая) производительность;

$\Pi'$  – теоретическая производительность (выпускная способность);

$T_m$  – длительность работы машины во время смены, с;

$T_{\Pi}$  – длительность простоев, с;

$T_p$  – время рабочего цикла, с;

$t_{отн}$  – относительное время простоев.

Он характеризует относительную величину всякого рода потерь времени работы машины.

Технологическая производительность ( $\Pi''$ ) – это такое фиктивное максимально возможное при данной технологии количество продукции в единицу времени, которое могло бы быть выпущено, если бы не было потерь на холостые ходы и в течение всего времени пребывания продукта в машине он непрерывно подвергался бы обработке. Технологическая производительность определяется по формуле:

$$\Pi'' = \eta' \eta'' \Pi' = \eta' \Pi' \quad (3.4)$$

где  $\eta'$  – коэффициент использования ее теоретической производительности;

$\eta''$  – коэффициент непрерывности обработки;  
 $\Pi''$  – технологическую (идеальную) производительность машин;  
 $\Pi'$  – теоретическая производительность машин.

$$\eta'' = \Pi' / \Pi'' \quad (3.5)$$

В циклических машинах коэффициент непрерывности колеблется в пределах  $0 < \eta'' < 1$  в непрерывно-поточных машинах  $\eta'' = 1$

Повысить действительную производительность можно тремя путями: увеличением технологической производительности за счет интенсификации самого процесса; повышением коэффициента непрерывности обработки за счет уменьшения времени холостых ходов, остановок, подводов рабочих органов к объектам; увеличением коэффициента использования машины за счет уменьшения внецикловых потерь, увеличения сменности, лучшей организации производства. Пределом повышения  $\Pi$  при  $\tau_{\text{отн}} \rightarrow 0$  будет  $\Pi_{\text{max}} = \Pi'$ .

Основной характеристикой машины является ее теоретическая производительность. Она зависит от класса машины, числа ручьев (одновременно обрабатываемых объектов), скорости рабочих органов и степени совмещения отдельных операций, геометрических параметров обрабатываемых объектов.

Производительность любой машины ( $\Pi$ ) можно определить также по формуле:

$$\Pi' = \frac{E}{T_T} \quad (3.6)$$

где  $E$  – количество обрабатываемых объектов (обрабатываемого материала) одновременно находящихся в машине, шт;  
 $T_T$  – время технологического цикла, с.

Для машин непрерывно-поточного действия:

$$T_T = L/v_{cp}; E = AL; \Pi' = ALv_{cp}/L = Av_{cp}, \quad (3.7)$$

где  $L$  – путь продукта в машине, м;  
 $v_{cp}$  – средняя скорость движения продукта в машине, м/с;  
 $E$  – продуктовая емкость, м<sup>3</sup>;  
 $A$  – коэффициент пропорциональности.

Чем выше скорость, тем больше производительность, но при условии обеспечения заданного технологического результата. Увеличение скорости должно сопровождаться увеличением интенсивности обработки.

В зависимости от места нахождения машин в технологическом процессе их функции и задачи различны, поэтому показатель технологической эффективности должен характеризовать выполнение этих задач соответствующими машинами.

## 3.2 Расчетная часть

### 3.2.1 Расчет производительности штифтового измельчителя

Общая формула для расчёта производительности штифтового измельчителя имеет вид [8]:

$$Q = \frac{900\pi}{\tau} (D^2 L - K_{um} d^2 l) \gamma \varphi, \quad (3.8)$$

где  $\tau$  – время обработки, определяемая экспериментально, с;

$D$  – диаметр диска, м;

$L$  – расстояние между дисками, м;

$K_{um}$  – количество штифтов;

$d$  – диаметр штифта, м;

$l$  – длина штифта, м;

$\gamma$  – объемная масса продукта в движении, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коэффициента загрузки.

Производительность измельчителей штифтового типа зависит от полезного рабочего пространства машины  $V$ , коэффициента загрузки  $\varphi$ , объемной массы продукта в движении  $\gamma$  и времени пребывания продукта в машине  $\tau$ .

Время пребывания продукта в машине ( $\tau$ ) зависит от скорости перемещения продукта от входа к выходу. Величина  $\tau$  может быть определена экспериментальным путем. Продолжительность пребывания продукта в штифтовом измельчителе при окружной скорости ротора от 50 до 150 м/с колеблется в пределах 6-15 с.

Для штифтового измельчителя ударного действия полезный объем рабочего пространства может быть определен следующим образом:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L - K_{um} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \quad (3.9)$$

где  $D$  – диаметр диска, м;

$L$  – расстояние между дисками, м;

$K_{um}$  – количество штифтов, шт;

$d$  – диаметр штифта, м;  
 $l$  – длина штифта, м.

Коэффициент загрузки, как показали опыты, при нормальной работе колеблется от 0,7 до 0,77.

Величина объемной массы продукта  $\gamma$  изменяется в зависимости от скорости его движения. Так, для крупок с исходной объемной массой  $\gamma=0,48\text{т/м}^3$ . Следовательно, в штифтовом измельчителе также происходит уменьшение величины объемной массы продукта. Исходя из фактической производительности измельчителя, получается, что при окружных скоростях вращения штифтов 50-150 м/сек объемная масса уменьшается примерно в 1,5-3 раза, т.е  $\gamma= 0,32\text{-}0,16\text{ т/м}^3$ .

### 3.2.2 Энергетический расчет

Удельный расход энергии  $W$  определяли по формуле [4]:

$$W = \frac{P_u}{Q} \quad (3.10)$$

где  $P_u$  – полезная мощность, потребная на измельчение, кВт;

$Q$  – производительность измельчителя, т/час;

Полезную мощность  $P_u$  рассчитывают, исходя из измеренной величины подводимой мощности и потерь в электродвигателях и передачах. Последние учитывались коэффициентами полезного действия передач.

*Пример технологического расчета.* Определить производительность и рассчитать энергозатраты штифтового измельчителя при следующих параметрах: диаметр диска  $D = 0,64\text{м}$ , расстояние между дисками  $L = 0,01\text{ м}$ , количество штифтов, длина штифта  $l = 0,055\text{м}$ ,  $K_{ум} = 596$ , диаметр штифта  $d = 0,01\text{ м}$ ; при окружной скорости вращения штифтов  $\omega = 147\text{ м/с}$ , времени обработки материала  $\tau = 6\text{ с}$ , КПД передачи  $\eta = 0,93$ , подводимой мощности  $P = 47\text{ кВт}$ .

Подставляем значения в формулу (3.8):

$$Q = \frac{900 \cdot 3,14}{6} (0,64^2 \cdot 0,01 - 596 \cdot 0,01^2 \cdot 0,055) \cdot 200 \cdot 0,75 = 5,78\text{ кг/с}.$$

Полезную мощность рассчитываем по формуле:

$$P_u = P \eta \quad (3.11)$$

$$P_u = 47 \cdot 0,93 = 43,71 \text{ кВт.}$$

Расход энергии рассчитываем по формуле (3.10):

$$W = \frac{43,71}{3,6 \cdot 5,78} = 2,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

#### 4 Тепловой расчет

В штифтовой мельнице полезная энергия измельчения превращается в тепло, количество которого (в Вт) рассчитывается по формуле [4]:

$$Q = \sqrt{3} \cdot IU \cos \varphi \eta_0 \quad (4.1)$$

где  $I$  – сила тока, А;  
 $U$  – напряжение, В;  
 $\cos \varphi$  – коэффициент мощности;  
 $\eta_0$  – общий коэффициент полезного действия электродвигателя и приводного устройства.

Образующееся при измельчении тепло нагревает продукт и воздух. Тепловой баланс штифтовой мельницы без учета потерь в окружающую среду имеет вид:

$$P \cdot c \cdot T_1 + G_g \cdot c_g \cdot T_g + Q = P \cdot c T_2 + G_g c_g T_2 \quad (4.2)$$

где  $P$  – производительность мельницы, кг/с;  
 $c$  – удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг К) ;  
 $T_1$  – начальная температура продукта, С;  
 $G_g$  – количество подаваемого воздуха, кг/с;  
 $c_g$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг К);  
 $T_g$  – температура воздуха, С;  
 $Q$  – количество тепла, образующегося при измельчении, Вт;  
 $T_2$  – конечная температура продукта и воздуха, С.

Количество подаваемого воздуха рассчитываем по формуле:

$$G_g = P / \mu \quad (4.3)$$

Где  $P$  – производительность мельницы, кг/с;  
 $\mu$  – концентрация смеси, кг/кг.

Используя уравнение теплового баланса, можно найти температуру нагрева продукта и сравнить ее с допустимой:

$$T_2 = \frac{Q + ПсT_1 + G_вc_вT_в}{Пс + G_вc_в} \quad (4.4)$$

где  $Q$  – количество тепла, образующегося при измельчении, Вт;  
 $П$  – производительность мельницы, кг/с;  
 $c$  – удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг К) ;  
 $T_1$  – начальная температура продукта, С;  
 $G_в$  – количество подаваемого воздуха, кг/с;  
 $c_в$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг К);  
 $T_в$  – температура воздуха, С.

*Пример теплового расчета.* Определить температуру какао порошка, выходящего из штифтовой мельницы, если первоначальная температура жмыха 40° С, а температура поступающего воздуха 12 °С. При испытании производительность установки составила 800 кг/ч, сила тока 240 А, напряжение 220 В при  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $\eta_0 = 0,85$ .

Количество тепла, образующегося при измельчении, определяем по формуле (4.1):

$$Q = \sqrt{3 \cdot 240 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 0,85} = 62187 \text{ Вт};$$

Количество подаваемого воздуха рассчитываем по формуле (4.3):

$$G_в = 800 / (0,35 \cdot 3600) = 0,635 \text{ кг/с};$$

Температуру нагрева какао порошка по формуле (4.4):

$$T_2 = \frac{62187 + (800 : 3600)2100 \cdot 40 + 0,635 \cdot 1000 \cdot 12}{(800 : 3600)2100 + 0,635 \cdot 1000} = 80^\circ \text{ С}.$$

Такая температура нагрева вполне допустима для какао порошка.

## 5 Конструкторский расчет

## **5.1 Теоретическая часть**

### **5.1.1 Требования, предъявляемые к рабочим узлам измельчителей**

Составной частью процесса проектирования деталей машин является обеспечение основных критериев работоспособности, что требует выполнения соответствующих расчетов. При этом под работоспособностью понимается выполнение определенных функций в течение заданного срока службы без поломок и внеплановых ремонтов [4,7].

**Прочность** – свойство детали не разрушаться или не получать остаточных деформаций под влиянием действующих сил в течение заданного срока службы. Недопустимыми являются разрушения типа поломок и разрушения рабочих поверхностей детали.

**Жесткость** – способность детали сопротивляться образованию деформации под влиянием действующих на нее сил. Упругие деформации не должны превышать некоторых допустимых, заранее заданных величин. Во многих случаях именно по условиям жесткости определяются окончательные размеры деталей.

**Износостойкость** – способность детали, материала сопротивляться износу. Износ – изменение размеров, формы, массы, состояния поверхности изделия вследствие разрушения поверхностного слоя при трении. Повышенный износ является основной причиной выхода из строя деталей машин.

**Вибростойчивость** – способность детали сопротивляться возникновению и действию вредной вибрации. Вибрации вызывают дополнительные переменные напряжения и, как правило, приводят к усталостному разрушению деталей. Особенно опасно совпадение частот вынужденных и свободных колебаний системы (резонанс).

**Теплостойчивость** – способность ограждающих конструкций машин сохранять постоянство температуры. В процессе эксплуатации машины имеют место значительные потери мощности, сопровождаемые обильным тепловыделением, или возможно изменение температуры среды, поэтому очень важно обеспечить определенный температурный режим работы ее деталей (узлов). Колебания температуры понижают прочность материала, увеличивают износ трущихся деталей, понижают точность работы машины. Понижение температуры может повести к хрупкому разрушению.

### **5.1.2 Расчеты деталей измельчающих машин**

Под расчетом детали понимается определение ее размеров, отвечающих требованиям прочности, жесткости, срока службы и т. п. Первым обычно проводится расчет на прочность. Остальные расчеты проводятся после того, как размеры детали уже определены и необходимо лишь их откорректировать.

Различают проектный и проверочный методы расчета.

Проектный метод расчета дает возможность определить форму, размеры и материал деталей по заданным величинам внешних сил и видам упругих деформаций. При этом число неизвестных обычно превышает число расчетных уравнений. Поэтому многими величинами приходится задаваться, принимая во внимание опыт и рекомендации.

Проверочный метод расчета сводится к определению опасных сечений и величины возникающих в них напряжений, после чего выясняются действительные запасы прочности, которые затем и сравниваются с допустимыми. Проверочный расчет применяется также для определения нормы нагрузки уже существующих конструкций.

Проектирование деталей машин ведут в такой последовательности: сначала знакомятся с назначением и условиями работы детали, ее связями с другими деталями; устанавливают величины, направления и характер внешних нагрузок; выясняют возможные виды деформации детали; составляют расчетную схему; устанавливают характер напряженного состояния материала детали, назначение предварительной формы и способ получения заготовки детали; выбирают марку материала, вид термической обработки и поверхностное напряжение с назначением механических характеристик материала; назначают запас прочности и определяют допускаемые напряжения; выбирают метод расчета; составляют уравнения прочности и определяют размеры детали в опасных сечениях; устанавливают окончательно форму детали и размеры ее элементов, поля допусков, чистоту поверхностей, затем окончательно оформляют рабочий чертеж детали.

Расчет на прочность необходим для того, чтобы обеспечить надежность и долговечность деталей машин или конструкции при их минимальной массе.

Расчет на жесткость осуществляется в случае ограничения упругих перемещений.

Эти расчеты более трудоемки, чем расчеты на прочность, поэтому в ряде случаев ограничиваются лишь последними, но принимают ведомо повышенные коэффициенты запаса прочности, с тем чтобы таким путем обеспечить должную жесткость.

Расчет на износостойкость проводится обычно косвенными методами. В частности, расчет на ограничение износа сводится к выбору таких размеров контактирующих поверхностей, при которых рабочие давления не превышают допускаемых значений, установленных на основе опыта эксплуатации конструкции.

Расчет на виброустойчивость выполняется в случае, когда ставится задача выбора конструкции такой жесткости, при которой не будет опасности возникновения резонанса колебаний. Расчет сводится прежде всего к проверке условия отсутствия резонанса при длительных режимах работы машины.

Тепловой расчет производится для обеспечения нормального теплового режима работы деталей машины. В большинстве случаев он

выполняется с целью определения температуры нагрева (или охлаждения) деталей и изыскания способов для ограничения ее величины допустимыми пределами.

Проектирование деталей машин, работающих в условиях высоких температур, требует выполнения специальных расчетов, так как в этих случаях особое значение приобретают явления ползучести металлов и постепенного ослабления (релаксации) напряжений.

Определение допустимых напряжений и коэффициента запаса прочности

При выполнении всех видов расчетов сопоставляют расчетные и допускаемые значения запасов прочности или напряжений. От правильного их определения и зависит степень рациональности конструкции детали.

Коэффициент запаса прочности – это отношение предельного напряжения к наибольшему действительному напряжению:

$$n = \sigma_{пред} / \sigma = \tau_{пред} / \tau \quad (5.1)$$

где  $\sigma_{пред}$ ,  $\tau_{пред}$  – предельное напряжение, Па;

$\sigma$ ,  $\tau$  – действительное напряжение, Па.

Чем больше  $n$ , тем прочнее конструкция, тем большим запасом надежности она обладает. В то же время очень большие запасы приводят к перерасходу материала.

В качестве предельного напряжения рекомендуется принимать: при статическом нагружении детали из пластического материал – предел текучести; при статическом нагружении детали из хрупкого материала – предел прочности; при возникновении в деталях напряжений, переменных во времени – предел выносливости.

В заключение следует отметить, что ввиду приближенного характера всех расчетов на прочность нет необходимости определять величины действующих и допускаемых напряжений с излишне высокой арифметической точностью. Вполне достаточно, чтобы последняя цифра этих величин была 5 или 0,38.

### 5.1.3 Определение расчетных нагрузок

Нагрузки, действующие на машину и ее элементы, вызывают ее износ и разрушение. Различают нагрузки постоянные, соответствующие периоду нормальной эксплуатации машины, и случайные, кратковременные, возникающие при отклонениях от правил нормальной эксплуатации. Кроме того, бывают нагрузки статические и динамические.

Статические нагрузки нарастают медленно и плавно от нуля до какого-то конечного значения и затем уже не изменяются. Они могут быть найдены достаточно точно с помощью расчетов или данных практики, так как они пропорциональны определяющим величинам.

Динамические нагрузки прикладываются к конструкции сразу всей своей величиной. Они теоретически определяются путем довольно сложных вычислений, так как зависят от большого числа факторов.

Нагрузки, действующие на детали, по характеру изменения во времени могут быть постоянными и переменными. Переменные нагрузки могут быть повторно-периодическими (повторяющимися по определенному периодическому закону) и повторно-непериодическими (неопределенно изменяющимися по величине и времени действия). Характер изменения нагрузок для технологических машин в течение одного технологического цикла остается приблизительно постоянным.

Методика расчета на прочность выбирается после того, как определены действующие нагрузки и выбрана расчетная схема. Необходимо определить величины и направления действующих сил, моментов и давлений, установить места их приложения и найти законы их изменения во времени.

Действующие нагрузки могут быть вызваны следующими причинами: сопротивлением обрабатываемого пищевого продукта, силами инерции, массой, трением, остаточными напряжениями, монтажными напряжениями, зазорами в кинематических парах.

Для определения величин действующих нагрузок применяются различные методы, в частности, тензометрических измерений. Для многих машин пищевых производств установлены расчетные формулы, с помощью которых можно определять действующие усилия. Для некоторых видов машин пищевых производств еще нет методов расчетов рабочих усилий. В этих случаях приходится сопоставлять проектируемую машину с какой-либо аналогичной конструкцией. При этом расчетные усилия определяются чаще всего с учетом мощности привода электродвигателя.

При расчете деталей машин определяют расчетную нагрузку  $Q_p$  :

$$Q_p = kQ_n \quad (5.2)$$

где  $k$  – динамический коэффициент;

$Q_n$  – номинальная сила, Н.

Номинальную нагрузку  $M_p$ , рассчитывают по формуле:

$$M_p = kM_n \quad (5.3)$$

где  $k$  – динамический коэффициент;

$M_n$  – номинальный момент, Н·м.

Коэффициент  $k$  учитывает дополнительные динамические нагрузки, связанные в основном с неравномерностью движения, пуском и торможением. В расчетах обычно принимается  $k = 1,2 - 1,8$ .

## 5.2 Расчетная часть

### 5.2.1 Прочностной расчет диска дезинтегратора

Многие машины пищевой промышленности имеют диски, на боковой поверхности которых по концентрическим окружностям закреплены пальцы или другие детали.

В качестве примеров можно привести дисковый измельчитель для зерен кукурузы (рисунок 3). Этот измельчитель имеет вращающийся диск, несущий конические пальцы, которые расположены по концентрическим окружностям, причем каждый ряд пальцев входит между двумя рядами пальцев неподвижного диска, закрепленного на крышке машины [5].

Другим примером являются диски дезинтеграторов, применяемых для измельчения твердых продуктов (рисунок 4). Два диска дезинтегратора вращаются в разные стороны. Расположенные по концентрическим окружностям цилиндрические пальцы одного диска входят между двумя рядами пальцев другого диска. Диски, нагруженные боковой нагрузкой, применяют также в эмульсорах ударного действия для получения некоторых пищевых эмульсий и в других машинах и аппаратах [7,8].

Рассмотрим расчет на прочность вращающегося диска, на боковой поверхности которого укреплены пальцы. При вращении диска действующие на пальцы центробежные силы инерции дополнительно нагружают диск. Возникающие при этом напряжения суммируются с напряжениями от действия сил самого вращающегося диска.

Примем, что нагрузка на диск от действия силы инерции пальцев распределяется равномерно по окружности радиуса  $r$  (рисунок 5).

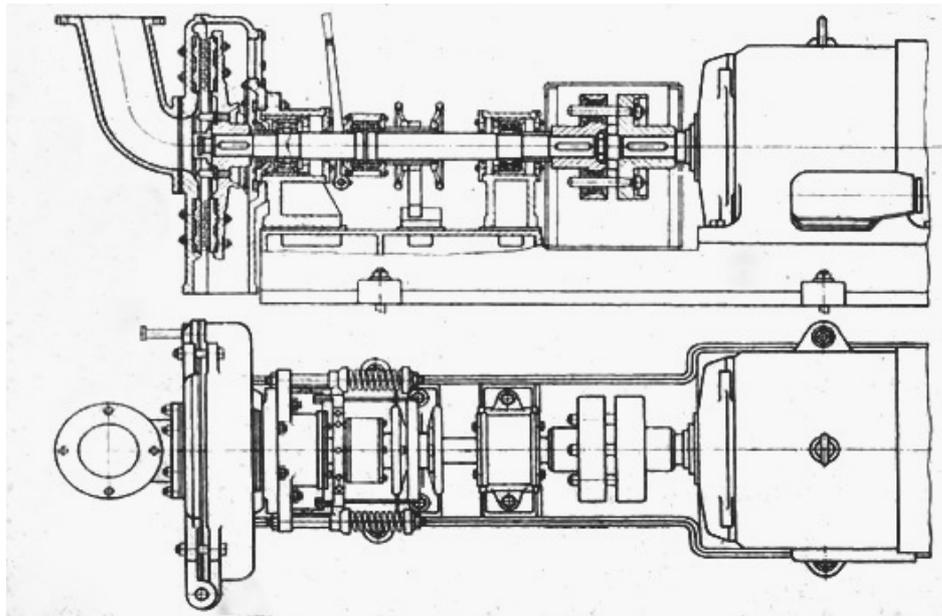
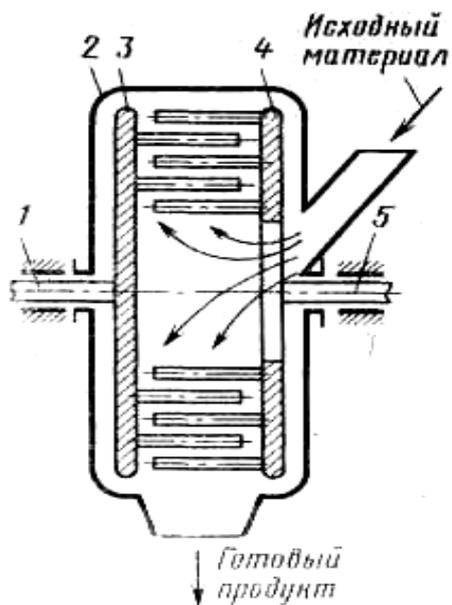


Рисунок 3 – Дисковый измельчитель



1 – левый приводной вал; 2 – кожух; 3 – левый диск с пальцами; 4 – правый диск с пальцами; 5 – правый приводной вал

Рисунок 4 – Дезинтегратор

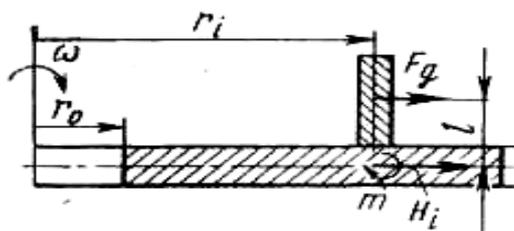


Рисунок 5 – Схема действия усилий на диск с пальцами

Имея в виду, что распределенные силы, отнесенные к единице длины окружности расположения пальцев  $H_1, H_2, H_3$  и распределенные моменты  $m_1, m_2, m_3$  действуют соответственно на радиусах  $r_1, r_2, r_3$ , суммируем соответствующие напряжения, в этом случае применим принцип независимости действия сил, что является приближением, так как при изгибе диска силы дают изгибающие моменты, несколько разгружающие диск.

$$\sigma_r = (\sigma_r)_H + (\sigma_r)m = \sigma_{r0}\psi_{rr} + \sigma_{t0}\psi_{rt} + r^2\omega^2\psi_{rw} + \sum_1^k \left( \frac{H_i}{s} + \frac{6m}{s^2} \right) \psi_{rm}, \quad (5.4)$$

$$\sigma_t = (\sigma_t)_H + (\sigma_t)m = \sigma_{r0}\psi_{tr} + \sigma_{t0}\psi_{tt} + r^2\omega^2\psi_{tw} + \sum_1^k \left( \frac{H_i}{s} + \frac{6m}{s^2} \right) \psi_{tm}, \quad (5.5)$$

$$\sigma_{r0} = (\sigma_{r0})_H + \frac{6M_{r0}}{s^2}, \quad (5.6)$$

$$\sigma_{t0} = (\sigma_{t0})_H + \frac{6M_{t0}}{s^2}, \quad (5.7)$$

В выражениях (5.6), (5.7)  $\sigma_{r0}$  и  $\sigma_{t0}$  являются напряжениями в сечении при  $r = r_0$ .

Стержни дезинтеграторов изготавливают из материалов, обладающих большой твердостью и высокой ударной вязкостью.

Наибольшее применение для них находит хромокремнистая 40ХС. Наряду с легированной применяют углеродистые стали 30,50. Сталь 50 подвергается закалке при температуре 820 °С с последующим охлаждением в воде и затем отпуску с нагревом до температуры 630 °С и постепенным охлаждением в печи в течение 2 ч. Иногда прибегают к наплавке стержней из углеродистых сталей твердыми сплавами. Долговечность стержней составляет примерно 1200-1600 ч.

*Пример расчета диска дезинтегратора на прочность.* Требуется определить запас прочности для диска четырехрядного дезинтегратора, снабженного двумя рядами пальцев (рисунок 6). Масса пальца 0,5 кг. Диск вращается с частотой вращения  $n = 700$  об/мин. Материал диска – Ст 30.

Предел текучести материала  $\sigma_T = 220$  МПа. Наружный радиус диска  $R = 40$  см, внутренний  $r_0 = 4$  см. Радиус окружности, по которой расположен первый ряд пальцев, принять равным наружному радиусу диска  $r_1 = R$ , число пальцев первого ряда 30, радиус окружности расположения пальцев второго ряда  $r_2 = 280$  мм. Число пальцев 22. Расстояние по нормали от центра масс пальца до срединной плоскости диска  $l = 5,5$  см.

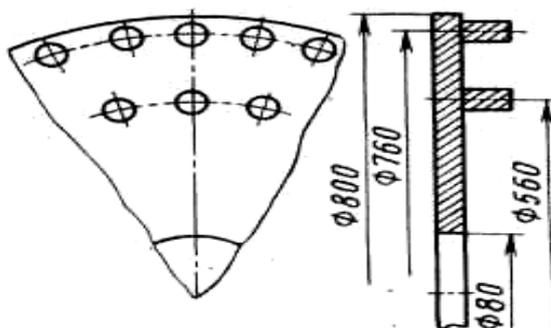


Рисунок 6 – Диск четырехрядного дезинтегратора

Угловая скорость

$$\omega = \pi n / 30, \quad (5.8)$$

где  $n$  – частота вращения диска, об/мин.

$$\omega = (3,14 \cdot 700) / 30 = 73,5 \text{ рад/с.}$$

Радиальное и окружное напряжения определяются по следующим формулам:

$$\sigma_r = \frac{3 + \mu}{8} \rho \omega^2 R^2 \left[ 1 + \left( \frac{r_0}{R} \right)^2 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \right], \quad (5.9)$$

$$\sigma_t = \frac{3 + \mu}{8} \rho \omega^2 R^2 \left[ 1 + \left( \frac{r_0}{R} \right)^2 - \frac{1 + 3\mu}{3 + \mu} \left( \frac{r}{R} \right)^2 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \right], \quad (5.10)$$

Радиальное и окружное напряжения в ближайшей к центру вала точке на окружности отверстия при значениях  $\omega = 73,5 \text{ с}^{-1}$ ;  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ;  $R = 40 \text{ см}$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $r_0 = 4 \text{ см}$ :

$$\sigma_r = 28,4 \left( 1 - \frac{r^2}{0,16} - \frac{16}{r^2} + 0,001 \right)$$

$$\sigma_t = 28,4 \left( 1 + \frac{16}{r^2} - 3,6r^2 + 0,01 \right)$$

Распределенную радиальную нагрузку центробежных сил инерции пальцев первого ряда:

$$H_1 = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 700^2 \cdot 30 = 13\,000 \text{ Н/м.}$$

Распределенные моменты от действия сил инерции пальцев первого ряда

$$m_1 = H_1 l = 13\,000 \cdot 0,055 = 720 \text{ Н}\cdot\text{м/м.}$$

Соответственно для второго ряда пальцев

$$H_2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 70^2 \cdot 22 = 9000 \text{ Н/м;}$$

$$m_2 = H_2 l = 9000 \cdot 0,055 = 500 \text{ Н}\cdot\text{м/м.}$$

Напряжения находим для следующих значений отношения  $r/R$ : 0,1; 0,25; 0,7; 1. Результаты вычисления  $\sigma_r$  и  $\sigma_t$  (МПа) по формулам (5.4), (5.5), во вращающемся диске без боковой нагрузки следующие:

$r/R$	$\sigma_r$	$\sigma_t$
0,1 ( $r=4$ )	0	5,611
0,25 ( $r=10$ )	2,238	3,22
0,7 ( $r=28$ )	1,42	2,135
1,0 ( $r=40$ )	0	1,261

Определим напряжения в диске от действия центробежных сил инерции, развиваемых массами пальцев при вращении диска.

Расчетная схема диска для определения напряжений, обусловленных действием на диск центробежных сил инерции пальцев, показана на рисунке 7.

Рассмотрим радиальные напряжения в нижних точках диска по внешней торцовой поверхности ( $r = R$ ). Для определения этих напряжений можно использовать уравнение (5.4); кроме того, их значения легко можно определить по известным величинам  $H_i$  и  $i$ :

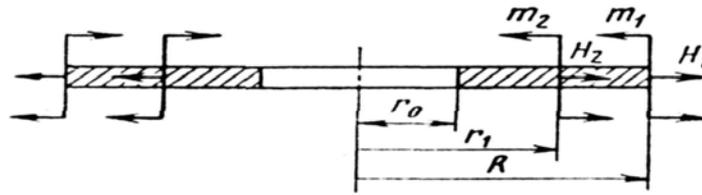


Рисунок 7 – Расчетная схема диска

$$(\sigma_r)_{r=R} = \frac{H_1}{s} + \frac{6m_1}{s^2} = \frac{13000}{0,012^2} + \frac{6 \cdot 720}{0,012^2} = 31,08 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Из рисунка 7 видно, что момент в нижних точках вызывает растяжение.

Запишем (распределенный момент  $m_2$  вызывает в рассмотренных точках сжатие, поэтому перед соответствующим членом уравнения стоит знак минус).

$$\sigma_{t0} \psi_{rt} \left( \frac{r_0}{R} \right) + \left( \frac{9000}{0,012} - \frac{6 \cdot 500}{0,012^2} \right) \psi_{rm} \left( \frac{r_1}{R} \right) = 31,08 \cdot 10^6$$

По формулам сопровождающих функций, перечисленных в таблице 1, определяем их значения

$$\psi_{rt} (0,04/0,4) = 0,49; \quad \psi_{rm} = (0,28/0,40) = 0,82$$

Тогда последнее уравнение примет вид:

$$31,08 \cdot 10^6 = \sigma_{t0} \cdot 0,49 - 200,5 \cdot 0,82 \cdot 10^5,$$

откуда получаем значение окружного нормального напряжения для нижних точек внутренней торцевой поверхности диска при  $r = r_0$ :

$$\sigma_{t0} = 95 \text{ МПа.}$$

В дальнейшем вычисляем напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma_t$  для тех же нижних точек диска, но лежащих на разных радиусах.

При  $r = 0,10 \text{ м}$

$$\lambda = r_0 / r = 0,04/0,1 = 0,4.$$

С помощью формул для сопровождающих функций находим для данного значения  $\lambda = 0,4$

$$\psi_{tt} (0,4) = 0,58; \quad \psi_{rt} (0,4) = 0,42.$$

Таблица 1 – Значения сопровождающих функций  $\Psi_{rr}$ ;  $\Psi_{tt}$ ;  $\Psi_{rt}$ ;  $\Psi_{tr}$ ;  $\Psi_{rm}$ ;  $\Psi_{rp}$ ;  $\Psi_{rq}$

$\lambda$	$\Psi_{rr} = \Psi_{tt}$	$\Psi_{rt} = \Psi_{tr}$	$\Psi_{rm}$	$\Psi_{rp}$	$\Psi_{rq}$
0,00	0,5000	0,5000	0,6500	$\infty$	0,2063
0,05	0,5012	0,4988	0,6509	0,3378	0,2032
0,10	0,5050	0,4950	0,6535	0,2659	0,1963
0,15	0,5112	0,4888	0,6579	0,2235	0,1868
0,20	0,5200	0,4800	0,6640	0,1933	0,1754
0,25	0,5312	0,4688	0,6719	0,1696	0,1626
0,30	0,5450	0,4550	0,6815	0,1499	0,1489
0,35	0,5612	0,4388	0,6929	0,1331	0,1345
0,40	0,5800	0,4200	0,7060	0,1182	0,1197
0,45	0,6012	0,3988	0,7209	0,1048	0,1049
0,50	0,6250	0,3750	0,7375	0,0926	0,0902
0,55	0,6512	0,3488	0,7559	0,0813	0,0759
0,60	0,6800	0,3200	0,7760	0,0707	0,0622
0,65	0,7112	0,2888	0,7979	0,0608	0,0493
0,70	0,7450	0,2550	0,8215	0,0511	0,0375
0,75	0,7812	0,2188	0,8469	0,0420	0,0269
0,80	0,8200	0,1800	0,8740	0,0331	0,0177
0,85	0,8612	0,1388	0,9029	0,0245	0,0103
0,90	0,9050	0,0950	0,9335	0,0162	0,0047
0,95	0,9512	0,0488	0,9659	0,0080	0,0012
1,00	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000

Затем подставляем эти значения в уравнения (5.4) и (5.5), в результате получаем

$$(\sigma_r)_{r=0,1} = 95 \cdot 10^6 \cdot 0,42 = 40 \text{ МПа};$$

$$(\sigma_t)_{r=0,1} = 95 \cdot 10^6 \cdot 0,58 = 55 \text{ МПа}.$$

При  $r = r_2 = 0,28$  м (справа от места приложения нагрузок)

$$\psi_{tt}(0,04/0,28) = 0,51; \quad \psi_{rt}(0,04/0,28) = 0,488;$$

$$\psi_{rm}(0,28/0,28) = 0,3; \quad \psi_{rp}(0,28/0,28) = 1;$$

$$(\sigma_r)_{r=0,28} = 95 \cdot 10^6 \cdot 0,488 + \left( \frac{9000}{0,012} - \frac{6 \cdot 500}{0,012^2} \right) = 27,8 \text{ МПа};$$

$$(\sigma_r)_{r=0,28} = 95 \cdot 10^6 \cdot 0,51 + \left( \frac{9000}{0,012} - \frac{6 \cdot 500}{0,012^2} \right) \cdot 0,3 = 40,96 \text{ МПа}.$$

При  $r = R = 0,4$  величина  $(\sigma_r)$  была определена выше:

$$(\sigma_r)_{r=0,4} = 31,08 \text{ МПа}.$$

Для определения  $(\sigma_r)_{r=0,4}$  находим значения сопровождающих функций, входящих в уравнения (1) и (2)

$$\psi_{it}(0,04/0,28) = 0,51; \quad \psi_{rt}(0,04/0,28) = 0,488; \quad \psi_{im}(0,28/0,28) = 0,3;$$

$$(\sigma_t)_{r=0,4} = 95 \cdot 10^6 + \left( \frac{9000}{0,012} - \frac{6 \cdot 500}{0,012^2} \right) 0,478 + \left( \frac{6 \cdot 720}{0,012^2} + \frac{13000}{0,012} \right) 0,3 = 47,75 \text{ МПа}$$

Найдем суммарные напряжения при выбранных значениях  $r$ , складывая напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma_t$  (МПа), приведенные выше, и найденные при различных  $r$ .

Суммарные напряжения будут следующие:

$r/R$	$\sigma_r$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа
0,1 ( $r=4$ )	0	100,6
0,25 ( $r=10$ )	42,24	58,2
0,7 ( $r=28$ )	29,2	43,1
1,0 ( $r=40$ )	31,1	49,0

Из этих данных видно, что максимальные значения напряжений получают на наименьшем радиусе диска.

Принимаем гипотезу наибольших касательных напряжений и учитываем, что  $\sigma_1 = \sigma_t, \sigma_3 = 0$ , находим коэффициент запаса прочности

$$\sigma_T / (\sigma_t)_{\max} = 220,0 / 100,6 = 2,2$$

Отметим, что на напряжения значительно повлияла боковая нагрузка, обусловленная действием сил инерции пальцев диска

### 5.2.2 Прочностной расчет пальца дезинтегратора

При расчете пальца вращающего диска на прочность его можно рассматривать как консольную балку, нагруженную усилиями от воздействия на обрабатываемый продукт  $P_p$  и центробежной силой  $P_u$ .

Величина силы  $P_p$  должна быть установлена при технологическом расчете или на основе анализа потребления мощности аналогичными существующими машинами.

Центробежная сила рассчитывается по формуле :

$$P_u = m\omega^2 r, \quad (5.10)$$

где  $m$  – масса пальца, кг;  
 $\omega$  – угловая скорость диска, рад/с;  
 $r$  – радиус окружности, на которой расположены пальцы, м.

Изгибающий момент от центробежной силы определяется по формуле:

$$M_u = 0,5m\omega^2 \cdot r \cdot l, \quad (5.11)$$

где  $l$  – длина пальца, м.

Изгибающий момент от рабочей нагрузки определяется по формуле:

$$M_p = P_p l, \quad (5.12)$$

Результирующий изгибающий момент определяется по формуле:

$$M_u = \sqrt{M_u^2 + M_p^2}, \quad (5.13)$$

Напряжение изгиба:

$$\delta = 32M_u (\pi d^3), \quad (5.14)$$

где  $d$  – диаметр пальца.

Напряжение среза определяется по формуле:

$$\tau = \sqrt[4]{P_u^2 + P_p^2} / (\pi d^2), \quad (5.15)$$

Эквивалентное напряжение по третьей теории прочности:

$$\delta_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (5.16)$$

Запас прочности пальца определяется из соотношения:

$$n = \delta_T / \delta_{\text{экв}}, \quad (5.17)$$

где  $\delta_T$  - предел текучести.

Должно быть проверено следующее условие  $n \geq [n]$

## 6 Порядок оформления отчета

Отчет о лабораторной работе оформляется в соответствии с требованиями стандарта и включает в себя:

- цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются теоретические основы процесса измельчения и дробления материалов, классификация измельчителей;
- расчетную часть, в которой дается расчет измельчителя по предлагаемому варианту (табл. 2 , описание конструкции и принципа действия измельчителя).

## 7 Необходимые знания для защиты лабораторной работы

Для успешной защиты лабораторной работы необходимы знания следующих глав и параграфов из списка использованных источников:

Часть 1. Общие положения [1]: Гл. 2.3 Физико-механические зернопродуктов. Глава 3. “Классификация технологических машин и основные требования к их конструкции”. Часть II. Технологическое оборудование элеваторов, мукомольных и крупяных предприятий: Глава 15. “Машины ударно-стирающего действия”. Часть II. Раздел А. Оборудование для ведения механических и гидромеханических процессов[3]: Глава 9. “Оборудования для измельчения пищевых сред”; Гл. XIII. “Машины для измельчения зерна и компонентов комбикормов” [6]: § 7 “Дробилки молотковые”;

Знать формулы (3.1)–(3.10), (4.1–4.3), (5.1)–(5.17), . Знать порядок технологического, теплового и конструкторского расчета штифтовых измельчителей.

## **8 Вопросы для самоконтроля знаний к лабораторной работе**

- 1 Дайте классификацию измельчающих машин ?
- 2 Измельчение, основные способы измельчения?
- 3 Какими параметрами характеризуется процесс измельчения?
- 4 Что называется степенью измельчения?
- 5 В каких отраслях пищевой промышленности используются измельчители?
- 6 Назовите основные элементы конструкций штифтовых измельчителей?
- 7 Дайте определение производительности машины?
- 8 Какие виды производительности вы знаете?
- 9 Напишите формулу для расчета производительности штифтового измельчителя?
- 10 В каких единицах выражается удельная производительность измельчителей?
- 11 Какое влияние оказывает тепловая энергия на измельчаемый продукт?
- 12 Под действием каких сил осуществляется измельчение?
- 13 Какие требования, предъявляются к рабочим узлам измельчителей?
- 14 Виды нагрузок, причины их возникновения?
- 15 Из каких материалов изготавливают диски и пальцы дезинтеграторов?
- 16 Напишите основное условие прочности диска дисмембратора?

## 9 Расчетно - практические задания

1. Выполнить технологический расчет штифтового измельчителя, согласно назначенному варианту:

Таблица 2 – Варианты индивидуальных заданий к технологическому расчету

Номер варианта	$D$ (м)	$L$ (м)	$l$ (м)	$K_{ум}$	$d$ (м)	$\omega_c$	$\tau_c$	$P, кВт$	$\eta$
1	0,62 м	0,01	0,055	535	0,012	143	6	45	0,93
2	0,70	0,008	0,048	545	0,010	145	14	47	0,93
3	0,58	0,009	0,05	547	0,012	148	9	56	0,92
4	0,50	0,011	0,06	540	0,012	152	12	40	0,88
5	0,53	0,012	0,055	535	0,012	167	15	38	0,93
6	0,60	0,013	0,06	540	0,014	156	10	42	0,90
7	0,68	0,014	0,042	538	0,012	136	14	48	0,93
8	0,65	0,01	0,052	560	0,015	145	5	52	0,92
9	0,55	0,008	0,045	530	0,012	155	8	43	0,85
10	0,56	0,009	0,05	532	0,016	142	10	45	0,93
11	0,67	0,011	0,045	538	0,012	151	6	46	0,93
12	0,68	0,012	0,05	534	0,012	146	12	50	0,93
13	0,69	0,013	0,04	538	0,012	143	11	48	0,91
14	0,63	0,014	0,05	541	0,014	146	14	43	0,93
15	0,57	0,01	0,04	537	0,012	142	9	46	0,93
16	0,59	0,008	0,05	540	0,012	143	7	47	0,93
17	0,64	0,009	0,06	538	0,012	138	16	50	0,91
18	0,54	0,011	0,06	542	0,012	145	5	48	0,93
19	0,61	0,012	0,06	538	0,010	147	15	52	0,87
20	0,51	0,013	0,08	536	0,012	145	13	42	0,90

2. Выполнить тепловой расчет штифтовой дробилки основываясь на результатах технологического расчета при температуре поступающего воздуха  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , первоначальной температуре жмыха  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , напряжении  $380\text{ В}$  при  $\cos \varphi = 0,8$ .

3. Выполнить расчет прочности диска четырехрядного дезинтегратора, снабженного двумя рядами пальцев. Материал диска – Ст 30. Предел текучести материала  $\sigma_T = 220\text{ МПа}$ . Масса пальца  $0,5\text{ кг}$ . Согласно принятому варианту задания (табл. 2) следует принять: частота вращения диска  $n$  (об/мин), наружный радиус диска  $R = D/2\text{ см}$ , внутренний  $r_0 = 4\text{ см}$ . Радиус окружности, по которой расположен первый ряд пальцев, принять равным наружному радиусу диска  $r_1 = R$ , число пальцев первого ряда  $K_{um}$ , радиус окружности расположения пальцев второго ряда  $r_2 = 2$  Общие положения ( $R-40\text{мм}$ ). Число пальцев ( $(K_{um})- 8$ ). Расстояние по нормали от центра масс пальца до срединной плоскости диска  $l, \text{ м}$  (табл. 2).

## Список использованных источников

1. **Глебов, Л.А.** Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия) [Текст] / Л.А. Глебов. [и др.] – М.: ДеЛи принт, 2006. – 816 с.

2. **Маевская, С.Л.** Измельчение крупок и дунстов в машинах ударно-стирающего действия при сортовом помоле пшеницы [Текст] / С.Л. Маевская, Г.И. Креймерман. – М.: Колос, 1973. – 45 с.

**3. Панфилов, В.А.** Машины и аппараты пищевых производств [Текст] / В 2 кн. Кн. 1. / под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001 – 703 с.

**Мороз, В.К.** Курсовое и дипломное проектирование по курсу «Эксплуатация оборудования предприятий пищевой промышленности» [Текст] / В.К. Мороз. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 200 с.

**4. Остриков, А.Н.** Практикум по курсу «Технологическое оборудование» [Текст] / А.Н. Остриков, М.Г. Парфенопуло, А.А. Шевцов. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 1999. – 424 с.

**5. Соколов, А.Я.** Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработки зерна [Текст] / А.Я. Соколов. – М.: Колос, 1984. – 455 с.

**6. Соколов, В.И.** Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования [Текст] / В.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1970. – 422 с.

**7. Цециновский, В.М.** Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий [Текст]: учеб. пособие для повышения квалификации руководящих работников и специалистов / В.М. Цециновский, Г.Е. Птушкина. – М.: Колос, 1976. – 368 с.