

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА МАШИНОВЕДЕНИЯ**

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ на тему:  
**«Машины для измельчения пищевых сред»**  
по дисциплине  
**«Расчет и конструирование машин  
и аппаратов пищевых производств»**  
*для студентов специальности*  
*1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»*

УДК 664.002

Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств» для выполнения практических работ по дисциплине «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств».

Приведены основы процессов измельчения твердых и жидких материалов, конструкции и принцип работы молотковой дробилки и гомогенизатора. Рассмотрены методики определения конструктивных и технологических параметров данных машин, а также приведены индивидуальное задание для студентов и рекомендуемая литература.

Методические указания обсуждены на кафедре машиноведения и рекомендованы к изданию.

Составитель: И. А. Мирошниченко, старший преподаватель

Рецензент: В. А. Адамович, главный инженер ОАО «Брестхлебопродукт»

## **СОДЕРЖАНИЕ**

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3**

**ТЕМА: «Изучение конструкции и расчет молотковой дробилки»..... 4**

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4**

**ТЕМА: «Изучение конструкции и расчет гомогенизатора»..... 12**

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА..... 17**

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

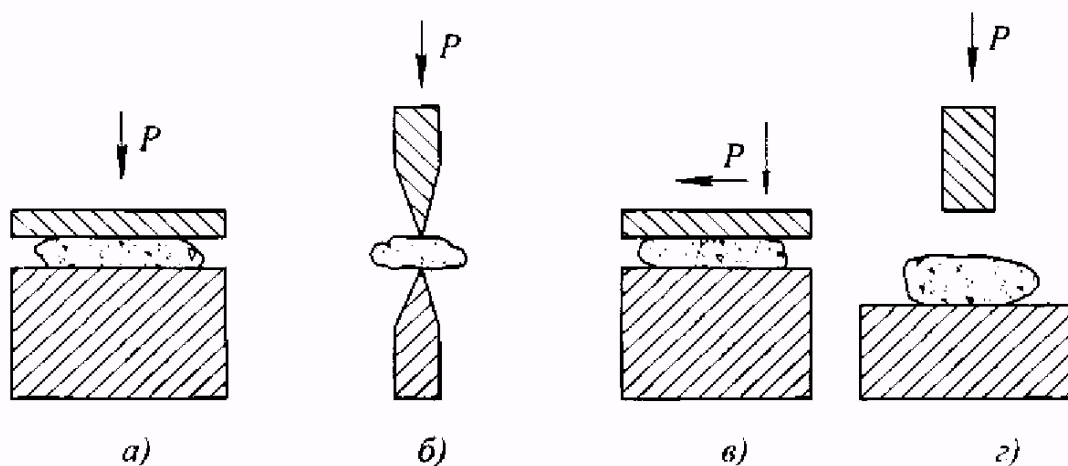
### Изучение конструкции и расчет молотковой дробилки

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Изучение теоретических основ процесса измельчения твердых материалов; конструкции и принципа работы молотковой дробилки; выполнение расчета.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Дроблением и измельчением называют процессы разрушения кусков (зёрен) на более мелкие зёрна путём действия внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления между частицами. Условно считают, что при дроблении (крупное, среднее, мелкое) получаются зёрна крупностью более 5 мм, а при измельчении (тонкое, сверхтонкое) – менее 5 мм. Машины, с помощью которых осуществляют дробление и измельчение, соответственно называют дробилками и мельницами.

Измельчение материалов осуществляется путём раздавливания, раскалывания, истирания и удара (рисунок 1). В большинстве случаев эти виды воздействия на материал используются комбинированно; при этом обычно основное значение имеет один из них, что обусловлено конструкцией машины, применяемой для измельчения.



*а – раздавливание; б – раскалывание; в – истирание; z – удар*

**Рисунок 1 – Способы измельчения материалов**

В зависимости от физико-механических свойств и размеров кусков (крупности) измельчаемого материала выбирают тот или иной вид воздействия. Так, дробление твёрдых и хрупких материалов производят раздавливанием, раскалыванием и ударом, твёрдых и вязких – раздавливанием и истиранием. Дробление материалов обычно осуществляется сухим способом (без применения воды), тонкое измельчение часто проводят мокрым способом (с использованием воды). При мокром измельчении пылеобразования не наблюдается и облегчается транспортирование измельчённых продуктов.

Результат обработки материалов характеризуется степенью измельчения – количественная характеристика процесса, показывающая, во сколько раз уменьшился размер кусков или зёрен материала при дроблении или

измельчении, и равная отношению среднего характерного размера куска материала до и после измельчения:  $i = \frac{d_n}{d_k}$ .

Часто размеры кусков исходного материала достигают 150 мм, тогда как в технологических процессах иногда используется материал, размеры частиц которого составляют доли микрона. Такие степени измельчения достигаются при измельчении в несколько стадий, поскольку за один приём (на одной машине) не удаётся получить продукт заданной конечной крупности. В зависимости от размеров наиболее крупных кусков исходного и измельчённого материала ориентировочно различают следующие виды дробления: крупное ( $i=2\dots6$ ); среднее ( $i=5\dots10$ ); мелкое ( $i=10\dots50$ ); тонкое ( $i=50\dots100$ ); сверхтонкое (больше 100).

Дробление и особенно измельчение весьма энергоёмкие операции, поэтому необходимо стремиться к уменьшению массы перерабатываемого материала, руководствуясь принципом: не измельчать ничего лишнего. По этому принципу из материала, подлежащего измельчению, целесообразно перед измельчающей машиной выделить куски (зёрна) меньшие или равные тому размеру, до которого производится измельчение на данной стадии. При этом уменьшается расход энергии на измельчение, становится возможным увеличение производительности, конечный продукт получается более равномерным по размерам кусков.

Выделение мелкой фракции осуществляется ситовой классификацией–разделением сыпучих материалов на классы по крупности путём просеивания через одно или несколько сит.

Измельчение осуществляется под действием внешних сил, преодолевающих силы взаимного сцепления частиц материала. При дроблении куски твердого материала сначала подвергаются объёмной деформации, а затем разрушаются по ослабленным дефектам (макро- и микротрещинам) с образованием новых поверхностей. Куски продукта дробления ослаблены трещинами значительно меньше исходных. Поэтому с увеличением степени измельчения возрастает расход энергии.

На пищевых предприятиях большое распространение получили молотковые дробилки – машины ударного действия, используемые для получения высокодисперсной смеси измельченных частиц. Они эффективны при разрушении хрупких материалов (сахара-песка, соли, зерна и др.) и менее эффективны при измельчении влажных продуктов с высоким содержанием жира. В таких машинах разрушение продукта происходит в результате ударов по нему стальных молотков, ударов частиц продукта о кожух дробилки и истирания их о штампованное сито, являющееся основной частью корпуса дробилки.

Дробление ударом в молотковых дробилках обеспечивает больший эффект измельчения, чем дробление раздавливанием в других типах дробилок, например щечковых или конусных. Степень дробления в ней во много раз выше (доходит до 20-30), а удельный расход энергии на дробление ниже, чем в дробилках, работающих на других способах дробления. Они отличаются высокой производительностью, приходящейся на единицу массы, более компактны.

Молотковые дробилки классифицируют по следующим признакам:

- по количеству роторов: однороторные, двухроторные;
- по конструкции соединения молотков с держателями: с шарнирно-подвешенными молотками, с жестко закрепленными молотками;
- по наличию колосниковых решеток: с колосниковой решёткой в загрузочной части, с колосниковой решёткой в разгрузочной части, без колосниковой решётки;
- по движению ротора: реверсивные, нереверсивные.
- по конструкции молотков: П-образные, плоские, утолщенные.

Дробилки работают в открытом и замкнутом циклах.

При измельчении в открытом цикле материал проходит через измельчающую машину один раз. В открытом цикле проводят крупное и среднее дробление, когда не требуется получать максимальные зёрна конечного продукта определённого размера. При наличии “мелочи” в исходном материале его предварительно классифицируют, при этом “мелочь” не подают в измельчитель, а сразу присоединяют к конечному продукту.

При измельчении в замкнутом цикле материал неоднократно проходит через дробилку. Работа по замкнутому циклу широко применяется при тонком измельчении. При этом благодаря предварительной и поверочной классификации в измельчитель практически не попадает “ничего лишнего”.

При осуществлении многостадийного разлома измельчающая машина последней стадии обычно работает в замкнутом цикле.

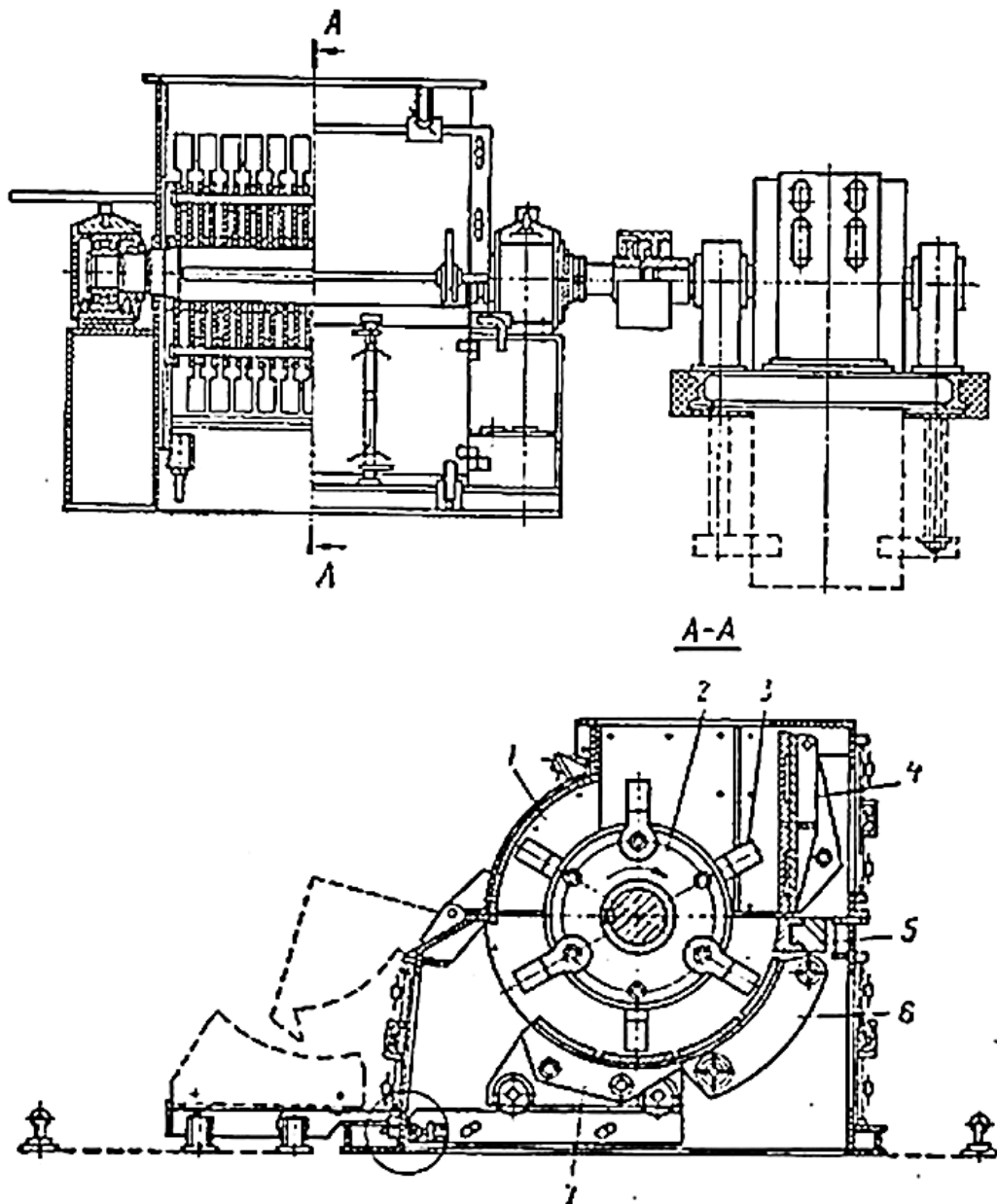
Наибольшее распространение получили дробилки со свободно подвешенными молотками. Молотковая дробилка (рисунок 2) для получения высокодисперсной смеси измельченных частиц устроена следующим образом.

Дробилка состоит из корпуса 1, ротора 2, молотков 3, отбойной плиты 4, отбойного бруса 5 и двух колосниковых решеток – поворотной 6 и выкатной 7.

Корпус дробилки сварен из стальных листов. Внутренние стенки корпуса в зоне камеры дробления футерованы сменными плитами из износостойкого материала. В корпусе предусмотрены специальные дверки для доступа к ротору и извлечения колосниковых решеток.

Отбойная плита сварная, футерована износостойкими плитами, своей верхней частью шарнирно крепится к корпусу дробилки. Нижняя часть плиты может перемещаться относительно ротора с помощью регулировочного устройства, в результате чего зазор между окружностью вращения молотков и нижним концом плиты может изменяться. В молотковых дробилках малых типовых размеров отбойная плита отсутствует, а футерованные плиты крепятся непосредственно к торцовым стенкам корпуса дробилки.

Для регулирования крупности готового продукта в крупных молотковых дробилках используется также отбойный брус, который устанавливается в специальных направляющих. Брус перемещается и фиксируется специальными винтами. Со стороны ротора к брусу крепится износостойкая футеровка. Поворотная колосниковая решетка шарнирно подвешена на оси, укрепленной в корпусе дробилки. Выкатная решетка установлена на тележке с роликами, расположенными, в свою очередь, на рельсах. Такая конструкция решеток значительно упрощает ремонт колосков и их замену при износе.



*1 – корпус; 2 – ротор; 3 – молотки; 4 – отбойная плита; 5 – отбойный брус;  
6 – поворотная колосниковая решетка; 7 – выкатная колосниковая решетка*

**Рисунок 2 – Молотковая однороторная дробилка СМД-97А**

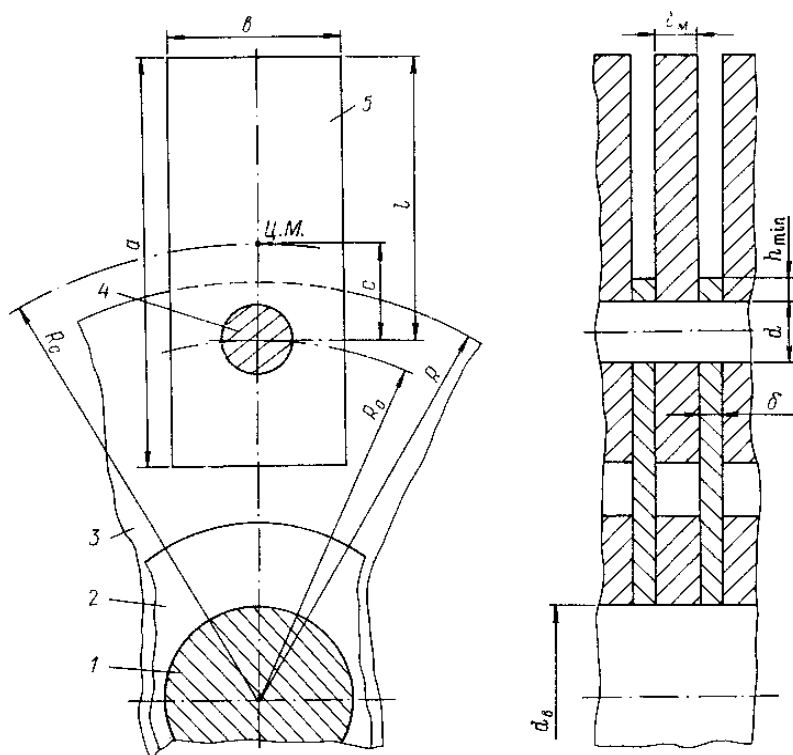
Колосниковая решетка состоит из самой решетки, отлитой в виде блоков из стали 110Г13Л, и рамы, служащей основанием для сборки блоков. Колосниковые решетки собирают из отдельных колосников, вставляемых в пазы рамы, или выполняют из перфорированного листа, свальцованного по радиусу. Щели между колосниками делают расширяющимися в сторону разгрузки под углом 10-20° и наклонными к радиусу ротора под углом 40-50° в сторону движения материала. Это облегчает разгрузку готового продукта из камеры дробления.

Ротор дробилки состоит из отдельных дисков, закрепленных на валу, между которыми на осях шарнирно подвешиваются молотки. Ротор рассматриваемой дробилки имеет шесть рядов молотков, расположенных, как это видно на рисунке, в шахматном порядке. В дробилке СМД-97А всего 69 молотков. Количество рядов молотков на роторе определяется размерами дробилки и ее назначе-

нием. Число рядов принимают 3-8, наиболее часто 4-6 рядов, причем конструкция дробилки предусматривает, как правило, возможность изменения числа рядов молотков по желанию эксплуатирующей организации, в зависимости от требований к крупности готового продукта.

Общее количество молотков на роторе определяется конструкцией молотков и размерами дробилки. На крупных дробилках устанавливают до 100 молотков. Масса молотков в зависимости от типоразмера дробилки принимается от 4 до 70 кг. Вал ротора опирается на два вынесенных из корпуса дробилки подшипника, установленных на специальные кронштейны. Вращение вала передается от двигателя через эластичную муфту. Для обеспечения эффективной работы молотковой дробилки ее ротору сообщают высокую окружную скорость (40-60 м/с).

Конструктивная схема рабочего органа – ротора – представлена на рисунке 3.



1 – вал; 2 – промежуточное кольцо; 3 – диск; 4 – ось; 5 – молоток

**Рисунок 3 – Ротор с молотками**

На валу ротора собран пакет из колец и дисков, поджатых с одной стороны гайкой. Молотки устанавливаются между дисками.

Ось проходит через отверстия дисков и молотков, чем осуществляется шарнирное закрепление молотков (подвешивание) на оси.

Количество молотков, располагаемых по окружности ротора с постоянным

угловым шагом, может равняться четырем и более. Наиболее сильные удары происходят при встрече частиц с концами молотков, когда последние занимают наивысшие рабочие положения. Эти удары при неудачной конструкции молотков передаются на всю машину и быстро выводят ее из строя.

Для снижения ударных воздействий на машину реакция молотков должна быть уравновешена на силу удара. Это достигается при условии отсутствия или незначительности ударной реакции в осях подвеса молотков.

## РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

**Исходные данные** (таблица 1): Средний размер куса материала до измельчения  $d_n$ , мм; средний размер куса после измельчения  $d_n$ , мм; минимальная окружная скорость молотков  $v=50$  м/с; плотность измельчаемого продукта  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>; конструктивные размеры молотка прямоугольной формы с одним отверстием: длина  $a$ , ширина  $b$ , высота  $\delta$ , мм.



Таблица 1 – Варианты индивидуальных заданий

№	$d_{н\text{ь}}$ мм	$d_{к\text{ь}}$ мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$\delta$ , мм	$\rho_{н\text{ь}}$ , кг/м <sup>3</sup>	№	$d_{н\text{ь}}$ мм	$d_{к\text{ь}}$ мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$\delta$ , мм	$\rho_{н\text{ь}}$ , кг/м <sup>3</sup>
<b>1</b>	10	0,2	80	35	8	1000	<b>13</b>	34	0,8	92	47	20	1300
<b>2</b>	12	0,25	81	36	9	1020	<b>14</b>	36	0,85	93	48	21	1350
<b>3</b>	14	0,3	82	37	10	1050	<b>15</b>	38	0,9	94	49	22	1400
<b>4</b>	16	0,35	83	38	11	1080	<b>16</b>	40	0,95	95	50	23	1450
<b>5</b>	18	0,4	84	39	12	1100	<b>17</b>	42	1,0	96	51	24	1500
<b>6</b>	20	0,45	85	40	13	1120	<b>18</b>	44	1,2	97	52	25	1550
<b>7</b>	22	0,5	86	41	14	1150	<b>19</b>	48	1,2	98	53	26	1600
<b>8</b>	24	0,55	87	42	15	1180	<b>20</b>	50	1,4	99	54	27	1650
<b>9</b>	26	0,6	88	43	16	1200	<b>21</b>	52	1,6	100	55	28	1700
<b>10</b>	28	0,65	89	44	17	1220	<b>22</b>	54	1,8	101	56	29	1750
<b>11</b>	30	0,7	90	45	18	1250	<b>23</b>	56	2,0	102	57	30	1800
<b>12</b>	32	0,75	91	46	19	1280	<b>24</b>	58	2,5	103	58	31	1900

### Методика расчета

Диаметр ротора определяется с учетом крупности измельчаемого материала, мм:

$$D = 3d_n + 550, \quad (1)$$

где  $d_n$  – наибольший размер кусков измельчаемого материала, мм.

Длина ротора должна быть соразмерна с его диаметром:

$$L = (0,8...1,2)D \quad (2)$$

Исходя из условия равновесия молотка и закона количества движения в момент удара установлено, что молоток обеспечит безударную работу при соблюдении следующего равенства его конструктивных размеров:

$$r_c^2 = c \cdot l, \quad (3)$$

где  $r_c$  – радиус инерции молотка относительно оси подвеса, мм;  $c$  – расстояние между центром тяжести молотка и осью подвеса, мм;  $l$  – расстояние от оси подвеса до рабочего конца молотка, мм.

Для пластинчатого молотка прямоугольной формы:

$$c = \frac{(a^2 + b^2)}{6a} \quad (4)$$

Квадрат радиуса инерции молотка относительно его центра тяжести:

$$r_{ц.м}^2 = \frac{(a^2 + b^2)}{12} \quad (5)$$

Квадрат радиуса инерции молотка относительно его оси подвеса:

$$r_o^2 = r_{ц.м}^2 + c^2 \quad (6)$$

Принимая, что точка приложения удара находится на конце молотка, имеем зависимость:

$$l = c + 0,5a \quad (7)$$

Во избежание нарушения устойчивой работы молотковой дробилки расстояние от оси подвеса молотка до оси ротора должно быть больше расстояния от конца молотка до его оси подвеса:  $l_o = l + (3 \dots 6) \text{ мм}$

Радиус наиболее удаленной от оси ротора точки молотка, м:

$$R_l = l_o + l \quad (8)$$

Угловая скорость вращения ротора,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\omega = \frac{v}{R_l} \quad (9)$$

Центробежная сила инерции молотка, Н:

$$F = m_m \cdot \omega^2 \cdot R_c, \quad (10)$$

где  $m_m = V_m \cdot \rho_m$  – масса молотка, кг;  $V_m$  – объем молотка,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_m = 7800 \text{ кг/м}^3$  – плотность стали;  $R_c = l_o + c$  – радиус окружности расположения центров тяжести молотков, м.

Диаметр оси подвеса молотка, м:

$$d = 1,36 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot \delta}{[\sigma_u]}}, \quad (11)$$

где  $[\sigma_u] = 10^8 \text{ Па}$  – допускаемое напряжение при изгибе.

Толщина ротора, м:

$$H \geq \frac{F}{d \cdot [\sigma_{cm}]}, \quad (12)$$

где  $[\sigma_{cm}] = 8 \cdot 10^7 \text{ Па}$  – допускаемое напряжение при смятии.

Минимальный размер перемычки между отверстиями под оси подвеса и наружной кромкой диска, м:

$$h_{\min} \geq \frac{0,5F}{\delta \cdot [\sigma_{cd}]}, \quad (13)$$

где  $[\sigma_{cd}] = 175 \cdot 10^6 \text{ Па}$  – допускаемое напряжение на сдвиг.

Наружный радиус диска, м:

$$R_o = l_o + 0,5d + h_{\min} \quad (14)$$

Диаметр вала в опасном сечении у шкива, м:

$$d_o = 0,052 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{\omega}} \quad (15)$$

Производительность молотковой дробилки, кг/с:

$$Q = K_1 \cdot \rho_n \cdot D^2 \cdot L \cdot \omega, \quad (16)$$

где  $K_1$  – эмпирический коэффициент, который зависит от типа и размеров ячеек ситовой поверхности, физико-механических свойств сырья (вид, прочность, крупность и др.):  $K_1 = (1,3 \dots 1,7) \cdot 10^{-4}$  для сит с размером отверстий до 3 мм;  $(2,2 \dots 5,2) \cdot 10^{-4}$  для чешуйчатых сит размером отверстий от 3 до 10 мм.

Мощность электродвигателя молотковой дробилки, кВт:

$$N = K_1 K_2 \rho_n D^2 L \omega, \quad (17)$$

где  $K_2 = (6,4 \dots 10,5)$  – эмпирический коэффициент, учитывающий степень измельчения продукта (меньшее значение  $K_2$  принимают при грубом измельчении, а большее – при тонком).

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о практической работе включает:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются основы процесса измельчения и дробления материалов, классификация дробилок, конструкция и принцип действия дробилки;
- расчетную часть, в которой дается расчет молотковой дробилки по предлагаемому варианту (таблица 1).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Способы измельчения материалов (эскизы).
2. Как определяется степень измельчения?
3. Виды дробления материалов в зависимости от степени измельчения.
4. Классификация молотковых дробилок.
5. Циклы работы молотковых дробилок.
6. Устройство и принцип работы молотковой дробилки.
7. Конструкция ротора с молотками.
8. Условие безударной работы молотков.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4**

### **Изучение конструкции и расчет гомогенизатора**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Изучение теоретических основ процесса гомогенизации, знакомство с классификацией гомогенизаторов, изучение устройства и принципа действия плунжерного гомогенизатора и приобретение практических навыков по его расчету.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Гомогенизацией называется процесс измельчения жидких и пюреобразных пищевых продуктов за счет пропускания их под большим давлением с высокой скоростью через узкие кольцевые щели. В результате воздействия на продукт гидродинамических факторов происходит дробление твердых частиц продукта. Гомогенизация не только изменяет дисперсность компонентов, но и влияет на физико-химические свойства продукта (плотность, вязкость и др.).

Гомогенизаторы подразделяются на клапанные, дисковые или центробежные и ультразвуковые. Основным фактором, определяющим конструкцию гомогенизаторов, является количество плунжеров (одно-, трех- и пятиплунжерные).

Наибольшее распространение получили клапанные гомогенизаторы, основными узлами которых являются насос высокого давления и гомогенизирующая головка.

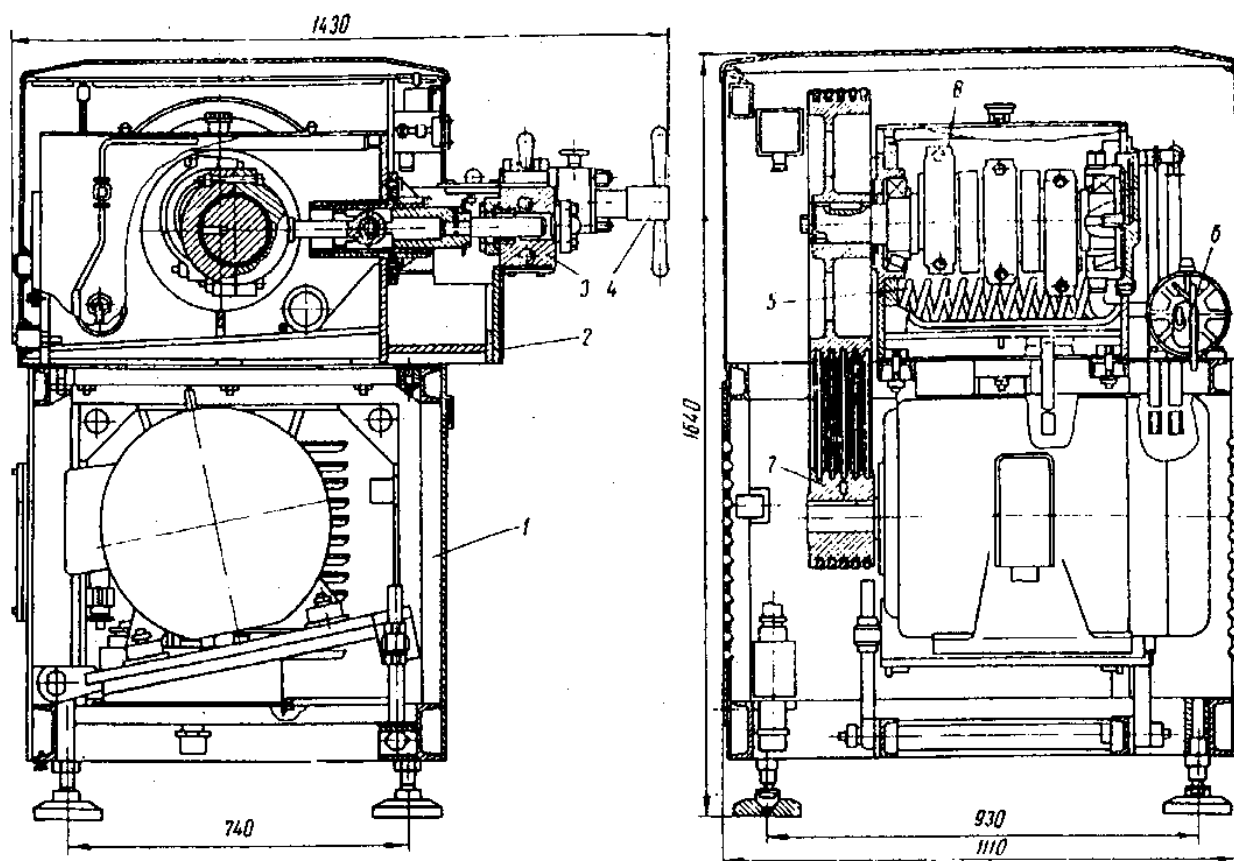
Устройство гомогенизатора приведено на рисунке 1.

Внутри станины 1 установлен электродвигатель на плите, которая меняет свое положение за счет поворота относительно оси, закрепленной с одной стороны плиты. Станина имеет четыре регулируемые ножки с подкладками. Сверху на ней укреплен корпус 2, в котором помещаются кривошипно-шатунный механизм 8, система охлаждения 5, фильтр системы смазки 6. Корпус выполнен в виде резервуара с наклонным дном для стекания масла. Уровень масла в нем должен находиться на такой высоте, чтобы кривошипно-шатунный механизм при вращении коленчатого вала мог доставать его и разбрызгивать в направлении ползунной группы.

Кривошипно-шатунный механизм 8 преобразует вращательное движение, переданное клиноременной передачей от электродвигателя, в возвратно-поступательное движение плунжеров. На коленчатом валу кривошипно-шатунного механизма установлены ведомый шкив 7 и шатуны. Вал вращается в конических упорных подшипниках, наружные кольца которых поджимаются крышками.

Система охлаждения 5 состоит из патрубков для подвода и отвода воды, трубчатого змеевика, уложенного по дну корпуса, и трубки с отверстиями, установленной над плунжерами. Воду подводят через входные патрубки и подают к плунжерам. Часть воды проходит в змеевике, охлаждает масло и затем отводится из гомогенизатора.

Производительность гомогенизатора регулируется частотой вращения электродвигателя и коленчатого вала с различным эксцентриситетом кривошипа.



1 – станина; 2 – корпус; 3 – плунжерный блок; 4 – гомогенизирующая головка; 5 – система охлаждения; 6 – система смазки; 7 – привод; 8 – кривошипно-шатунный механизм

**Рисунок 1 – Гомогенизатор**

Гомогенизирующая головка является узлом гомогенизатора, где непосредственно происходит диспергирование обрабатываемой среды.

Основными рабочими органами гомогенизирующей головки являются седло и клапан, от конструкции которых зависит степень дисперсности частиц при гомогенизации. Клапанная щель может быть гладкой и волнообразной, с постоянным или переменным сечением.

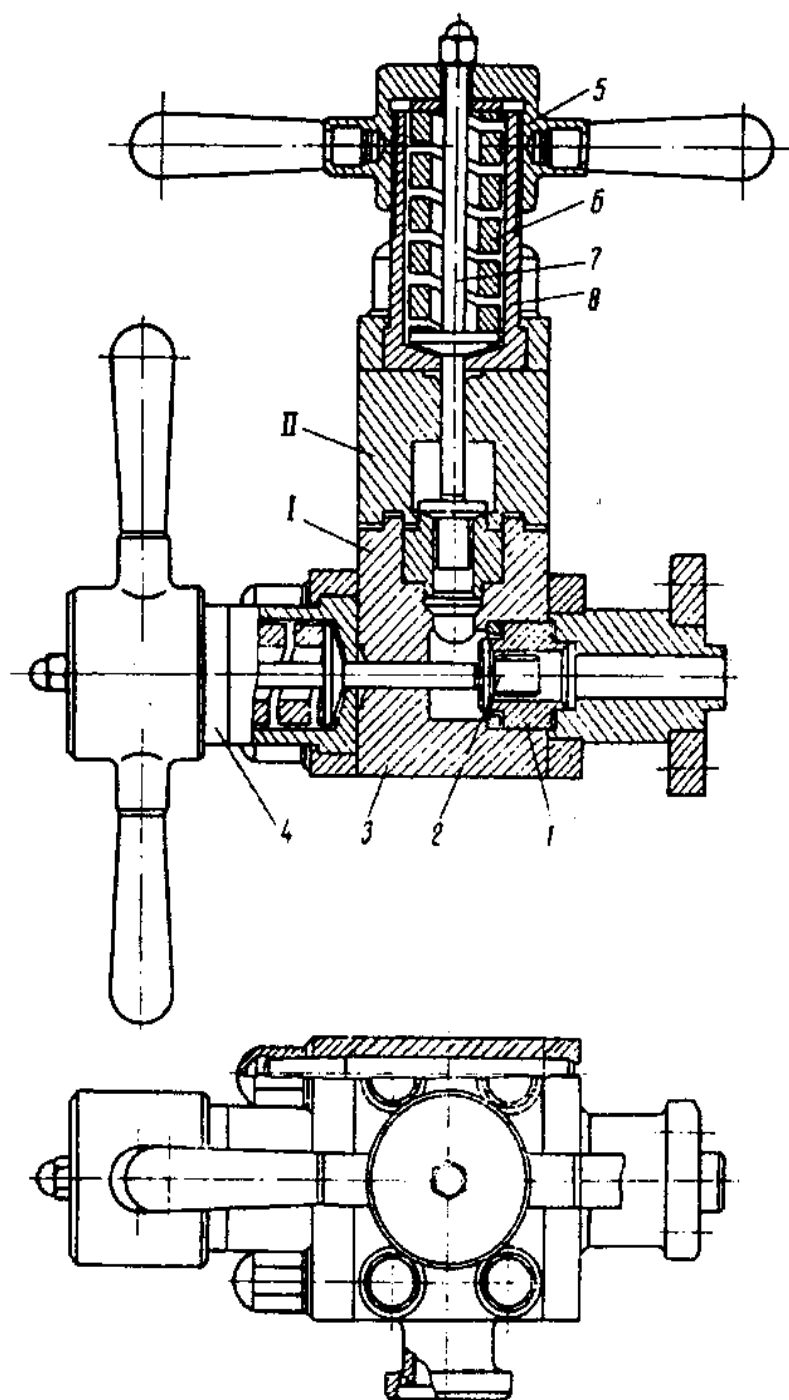
Для преодоления сопротивления при прохождении через узкую щель продукт подается под большим давлением (до 20 МПа). Сила, прилагаемая при подаче продукта, поднимает клапан, и между ним и седлом образуется узкий канал, через который протекает жидкость. Клапан остается над седлом в плавающем состоянии, и вследствие изменения гидродинамических условий высота канала постоянно меняется.

Сила, с которой клапан прижимается к седлу, создается часто пружиной 6, в некоторых конструкциях – маслом под давлением, и может регулироваться. Она определяется давлением, с которым осуществляется подача продукта.

Степень гомогенизации (тонкость измельчения) зависит от давления, конструкции гомогенизирующей головки, равномерности подачи, состояния и предварительной обработки продукта.

По типу гомогенизирующей головки гомогенизаторы можно подразделить на одно-, двух- и многоступенчатые.

Устройство двухступенчатой гомогенизирующей головки приведено на рисунке 2.



- I – первая ступень;*
- II – вторая ступень;*
- 1 – седло клапана;*
- 2 – клапан;*
- 3 – корпус;*
- 4 – нажимное устройство;*
- 5 – накидная гайка;*
- 6 – пружина;*
- 7 – шток;*
- 8 – стакан*

**Рисунок 2 – Гомогенизирующая головка**

Двухступенчатая головка состоит из корпуса 3 и клапанного устройства, основными частями которого являются седло 1 и клапан 2.

Клапан связан со штоком, на выступ которого давит пружина 6. Сила сжатия пружины регулируется путем перемещения гайки 5 со штурвалом, которая вместе с пружиной, штоком 7 и стаканом 8 образуют нажимное устройство 4.

Жидкость, нагнетаемая насосом под тарелку клапана, давит на тарелку и отодвигает клапан от седла, преодолевая сопротивление

пружины. В образующуюся между клапаном и седлом щель высотой 0,05...2,5 мм проходит с большой скоростью жидкость, гомогенизируясь при этом.

### РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Исходные данные (таблица 1):  $D$  – диаметр плунжера, мм;  $S$  – ход плунжера, мм;  $\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала,  $c^{-1}$ ;  $z$  – число плунжеров, шт.;  $p$  – давление гомогенизации, МПа.

Таблица 1 – Варианты индивидуальных заданий

№	D, мм	S, мм	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	z, шт.	p, МПа	№	D, мм	S, мм	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	z, шт.	p, МПа
<b>1</b>	20	10	30	1	10	<b>14</b>	24	36	32	3	20
<b>2</b>	22	12	31	3	20	<b>15</b>	26	38	33	5	11
<b>3</b>	24	14	32	5	12	<b>16</b>	28	40	34	1	12
<b>4</b>	26	16	33	1	14	<b>17</b>	30	42	35	5	13
<b>5</b>	28	18	34	5	16	<b>18</b>	32	44	36	3	14
<b>6</b>	30	20	35	3	18	<b>19</b>	34	46	37	1	15
<b>7</b>	32	22	36	1	17	<b>20</b>	36	48	38	3	16
<b>8</b>	34	24	37	3	11	<b>21</b>	40	50	39	5	17
<b>9</b>	36	26	38	5	13	<b>22</b>	20	54	40	1	28
<b>10</b>	38	28	39	1	15	<b>23</b>	22	56	30	5	29
<b>11</b>	40	30	40	5	19	<b>24</b>	24	58	32	3	30
<b>12</b>	20	32	30	3	10	<b>25</b>	26	52	33	1	20
<b>13</b>	22	34	31	1	19	<b>26</b>	30	60	34	5	25

### Методика расчета

Производительность плунжерного гомогенизатора, м<sup>3</sup>/с:

$$Q = 0,25 \cdot D^2 \cdot S \cdot \omega \cdot z \cdot \eta_n, \quad (1)$$

где  $D$ ,  $S$  – диаметр и ход плунжера плунжера, м;  $\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала, с<sup>-1</sup>;  $z$  – число плунжеров, шт;  $\eta_n = 0,8...0,9$  – КПД насоса.

Мощность электродвигателя гомогенизатора, кВт:

$$N = \frac{Q \cdot p}{3600 \cdot \eta}, \quad (2)$$

где  $p$  – давление гомогенизации, Па;  $\eta = 0,75...0,85$  – КПД гомогенизатора.

Толщина тарелки клапана, м:

$$h_{кл} = 0,43 \cdot d_{кл} \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}}, \quad (3)$$

где  $p$  – давление гомогенизации, МПа;  $[\sigma] = 240$  МПа – допускаемое напряжение для материала клапана;  $d_{кл}$  – диаметр клапана, м:

$$d_{кл} = \sqrt{1,27 \left( A + \frac{Q}{6 \cdot v_{\partial} \cdot z} \right)}, \quad (4)$$

где  $v_{\partial}$  – допускаемая скорость жидкости в седле (для всасывающего клапана 2 м/с, для нагнетательного 5...8 м/с);  $A$  – площадь сечения хвостовика, м<sup>2</sup>:

$$A = \pi \cdot r_x^2 \quad (5)$$

здесь  $r_x = (4...5) 10^{-3}$  м – радиус хвостовика.

Пружину нагнетательного клапана рассчитывают, исходя из необходимого усилия  $P_{np}$  при закрытом клапане, Н:

$$P_{np} = \frac{Q \cdot \omega \cdot m \cdot (1 + \lambda)}{14 \cdot d_{кл}^2 \cdot z}, \quad (6)$$

где  $m = 0,4$  кг – масса клапана;  $\lambda = 0,15 \dots 0,20$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;  $d_{кл}$  – диаметр клапана, м.

Сила сжатия пружины при рабочей деформации, Н:

$$P_{\delta} = 1,5 \cdot P_{np} \quad (7)$$

Жесткость пружины, Н/м:

$$j = \frac{(P_{\delta} - P_{np})}{h} \quad (8)$$

где  $h = 0,10 \dots 0,14$  м – высота пружины.

При гомогенизации часть механической энергии превращается в теплоту, вследствие чего происходит повышение температуры гомогенизируемого продукта, К:

$$\Delta t = \frac{p}{c \cdot \rho} \quad (9)$$

где  $p$  – давление гомогенизации, Па;  $c = 3880$  Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость молока;  $\rho = 1033$  кг/м<sup>3</sup> – плотность молока.

Средний диаметр жировых шариков, мм:

$$d_{cp} = \frac{3,8}{\sqrt{p}}, \quad (10)$$

где  $p$  – давление гомогенизации, МПа

Расчет предохранительных клапанов можно свести к определению проходного сечения седла клапана с учетом вязкости обрабатываемой жидкости. Для маловязких жидкостей (молоко, соки) диаметр проходного сечения седла, м:

$$D_c = \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{\frac{(p - p_{\epsilon})}{\delta_{\epsilon}} \cdot 10^6}} \quad (11)$$

где  $p$  – давление гомогенизации, МПа;  $p_{\epsilon} = 0,2$  МПа – давление всасывания;  $\delta_{\epsilon} = 1,03$  (для молока) – отношение массы перекачиваемой жидкости к массе воды.



## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о практической работе включает:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются теоретические основы процесса гомогенизации, классификация и принцип работы гомогенизатора и гомогенизирующей головки;
- расчетную часть, в которой приводится расчет гомогенизатора по предлагаемому варианту (таблица 1).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность процесса гомогенизации.
2. Классификация гомогенизаторов.
3. Конструкция и принцип работы гомогенизатора.
4. Как регулируется производительность гомогенизатора?
5. Типы гомогенизирующих головок.
6. Конструкция и принцип работы двухступенчатой гомогенизирующей головки.
7. От каких факторов зависит степень гомогенизации?
8. От каких параметров зависит производительность гомогенизатора?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 2-х кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А.Н. Остриков [и др.]; под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Шаршунов, В.А. Технологическое оборудование молокоперерабатывающих предприятий. – Минск: Мисанта, 2011.
3. Старшов, Г. И. Поточные технологические линии пищевых производств: учебное пособие к практическим занятиям / Г.И. Старшов, А. И. Никитин, К. В. Винокуров. – Саратов, 2009.
4. Процессы и аппараты пищевых производств / Под ред. А. Н. Острикова. – СПб, 2012.
5. Технология пищевых производств / Л. П. Ковальская, И. С. Шуб, Г. М. Мелькина [и др.]; под ред. Л. П. Ковальской. – М.: Колос, 1997.
6. Борщев, В. Я. Оборудование для измельчения материалов: учебное пособие. – Тамбов, 2004.

Учебное издание

**Составитель:**

*Мирошниченко Игорь Александрович*

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ на тему:  
**«Машины для измельчения пищевых сред»**  
по дисциплине

**«Расчет и конструирование машин  
и аппаратов пищевых производств»**  
*для студентов специальности*

*1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»*

Ответственный за выпуск: Мирошниченко И.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано в печать 25.11.2019 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,25. Заказ № 1593. Тираж 20 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.