



**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Сельскохозяйственные машины»**

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПЕРЕРАБОТКИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

**ПРАКТИКУМ**

**для студентов специальности 1-36 12 01**

**«Проектирование и производство сельскохозяйственной  
техники» дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2016**

УДК 636.082.2+636.083(075.8)  
ББК 45.3+46я73  
Т38

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 23.02.2016 г.)*

Рецензент: декан заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. физ.-мат. наук, доц. *Д. Г. Кроль*

Т38 **Технологии** и техническое обеспечение производства и переработки сельскохозяйственной продукции : практикум для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / сост. И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 48 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены теоретические сведения, рассмотрены методы и приемы расчета, выбора оборудования переработки сельскохозяйственного сырья.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

УДК 636.082.2+636.083(075.8)  
ББК 45.3+46я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ:

Наименование тем и их содержание	стр.
1. Расчеты в молочном деле.....	3
1.1 Теоретическая часть.....	3
1.2 Исходные данные для расчета.....	10
2. Расчет машины для мойки плодов и овощей.....	11
2.1 Теоретическая часть.....	11
2.2 Расчетная часть.....	14
2.3 Исходные данные для расчета.....	19
2.4 Контрольные вопросы.....	19
3. Расчет гомогенизатора.....	20
3.1 Теоретическая часть.....	20
3.2 Расчетная часть.....	25
3.3 Исходные данные для расчета.....	29
3.4 Контрольные вопросы.....	29
4. Расчет сепаратора.....	30
4.1 Теоретическая часть.....	30
4.2 Расчетная часть.....	33
4.3 Исходные данные для расчета.....	37
4.4 Контрольные вопросы.....	37
5. Расчет протирачной машины.....	38
5.1 Теоретическая часть.....	38
5.2 Расчетная часть.....	41
5.3 Исходные данные для расчета.....	45
5.4 Контрольные вопросы.....	46
6. Список рекомендованной литературы.....	46

Практическая работа №1  
Тема: **Расчеты в молочном деле**

Цель работы: При организации работы на молочных фермах, продаже молока перерабатывающим предприятиям и его переработке приходится проводить следующие расчеты: пересчет молока из объемного количества в весовое, на базисную жирность, вычисление количества жировых единиц и чистого молочного жира, определение средней жирности молока, составление жирового баланса, нормализация молока (сливок), расчеты при сепарировании, в маслоделии.

### 1.1 Теоретическая часть

#### 1.1.1 Пересчет молока из объемного количества в весовое

Для этих целей имеются специальные таблицы. Если их нет, то для пересчета используют фактическую (лучше) плотность или показатель средней плотности молока, равный  $1,03 \text{ г/см}^3$ . Количество молока в килограммах ( $M_{\text{кг}}$ ) равно количеству молока в литрах ( $M_{\text{л}}$ ), умноженному на 1,03

$$M_{\text{кг}} = M_{\text{л}} \cdot 1,03. \quad (1.1)$$

Пример: Необходимо 1300 л молока перевести в килограммы. Получим

$$M_{\text{кг}} = M_{\text{л}} \cdot 1,03 = 1300 \cdot 1,03 = 1339 \text{ кг.}$$

#### 1.1.2 Пересчет молока на базисную жирность

Под базисной жирностью понимается установленное процентное содержание жира в молоке. Для Республики Беларусь базисная жирность молока равна 3,6 %.

Для пересчета молока на базисную жирность ( $M_{\text{б.ж}}$ ) необходимо количество молока фактической жирности ( $M_{\text{ф.ж}}$ ) умножить на жирность фактическую ( $J_{\text{ф}}$ ) и разделить на жирность базисную ( $J_{\text{б}}$ )

$$M_{\text{б.ж}} = \frac{M_{\text{ф.ж}} \cdot J_{\text{ф}}}{J_{\text{б}}}. \quad (1.2)$$

Пример: Государству сдано 3000 кг молока жирностью 3,7 %. Количество молока базисной жирности (зачетная масса молока) будет равно

$$M_{б.ж} = \frac{3000 \cdot 3,9}{3,6} = 3250 \text{ кг.}$$

### 1.1.3 Пересчет молока фактической жирности в однопроцентное (расчет количества жировых единиц)

Чтобы рассчитать количество 1 %-ного молока ( $M_{1\%ж}$ ), или количество жировых единиц, необходимо количество молока ( $M_{ф.ж}$ ) умножить на его жирность ( $Ж_{ф}$ )

$$M_{1\%ж} = M_{ф.ж} \cdot Ж_{ф}. \quad (1.3)$$

Пример: Имеется 350 кг молока жирностью 3,5 %. Количество 1% - ного молока (количество жировых единиц) будет равно

$$M_{1\%ж} = 350 \cdot 3,5 = 1225 \text{ кг, или } 1225 \text{ ж.ед.}$$

Данный расчет применяется при вычислении средней жирности молока и составлении жирового баланса.

### 1.1.4 Расчет количества чистого молочного жира

Чтобы рассчитать количество чистого молочного жира в молоке ( $Ж_{ч.м}$ ), необходимо количество молока ( $M_{ф.ж}$ ) умножить на его жирность ( $Ж_{ф}$ ) и разделить на 100, или количество 1 %-ного молока разделить на 100

$$Ж_{ч.м} = \frac{M_{ф.ж} \cdot Ж_{ф}}{100}. \quad (1.4)$$

Пример: Имеется 2000 кг молока жирностью 3,6 %. Количество чистого молочного жира составит

$$Ж_{ч.м} = \frac{2000 \cdot 3,6}{100} = 72 \text{ кг.}$$

### 1.1.5 Расчет средней жирности молока

Чтобы рассчитать среднюю жирность молока ( $Ж_{ср.}$ ), необходимо количество 1% - ного молока разделить на количество молока:

$$Ж_{\text{ср.}} = \frac{M_{\text{ф.ж.1}} \cdot Ж_{\text{ф.1}} + \dots + M_{\text{ф.ж.n}} \cdot Ж_{\text{ф.n}}}{M_{\text{ф.ж.1}} + \dots + M_{\text{ф.ж.n}}}. \quad (1.5)$$

Пример: Необходимо рассчитать среднюю жирность молока, принятого на ферме за сутки, если утром надоено 2250 кг молока жирностью 3,7 %, а вечером – 2400 кг жирностью 3,6 %.

Средняя жирность молока составит

$$Ж_{\text{ср.}} = \frac{2250 \cdot 3,7 + 2400 \cdot 3,6}{2250 + 2400} = 3,648 \%$$

### 1.1.6 Составление жирового баланса

Жировой баланс составляют при сепарировании молока, производстве масла, наличии в хозяйстве центральной молочной:

$$M_{\text{ж.ед.мол.}} = M_{\text{ж.ед.пр.}} + M_{\text{ж.ед.отх.}} + M_{\text{ж.ед.пот.}}, \quad (1.6)$$

где  $M_{\text{ж.ед.мол.}}$  – количество жировых единиц в молоке или другом исходном сырье;

$M_{\text{ж.ед.пр.}}$  – количество жировых единиц в продукте;

$M_{\text{ж.ед.отх.}}$  – количество жировых единиц в отходах;

$M_{\text{ж.ед.пот.}}$  – количество жировых единиц, потерянных в процессе производства.

Пример: После сепарирования 1000 кг молока жирностью 3,5 % получено 150 кг сливок жирностью 23 % и 850 кг обрата, содержащего 0,05 % жира.

Из жирового баланса потери жировых единиц (в %) составят

$$M_{\text{ж.ед.пот.}} = \frac{M_{\text{ж.ед.мол.}} - (M_{\text{ж.ед.пр.}} + M_{\text{ж.ед.отх.}})}{M_{\text{ж.ед.мол.}}} \times 100.$$

Подставив данные, получим

$$M_{\text{ж.ед.пот.}} = \frac{1000 \cdot 3,5 - (150 \cdot 23 + 850 \cdot 0,05)}{1000 \cdot 3,5} \cdot 100 = 0,214 \%$$

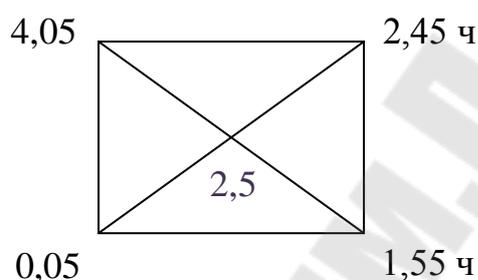
Потери жира не должны превышать предельно допустимых норм.

### 1.1.7 Нормализация исходного сырья

Получить молоко (сливки) заданной жирности можно путем смешивания исходных продуктов, в одном из которых жира содержится больше, чем в получаемом, а в другом – меньше. Для расчетов используют различные методики.

Пример: Имеется молоко жирностью 4,05 % и обрат, содержащий 0,05 % жира. Необходимо получить 2 т молока жирностью 2,5 %. Рассчитать, сколько следует взять исходного молока и обрата.

Решение. Используем правило квадрата



На одной из сторон квадрата, обычно это делают на левой стороне, проставляют жирность исходных продуктов: вверху – большую (4,05), внизу – меньшую (0,05), а на пересечении диагоналей ставят нужный % жира (2,5). Затем по диагоналям производят вычитания (от большего вычитают меньшее) и полученные результаты (2,45 и 1,55) проставляют в противоположных углах квадрата. По квадрату видно, что исходного продукта, который имеет жирность 4,05 % (молоко), необходимо взять 2,45 частей, а продукта, имеющего жирность 0,05 %, – 1,55 частей. При необходимости количество исходных продуктов, которое следует взять, можно выразить в процентах (молоко – 61,25 %, обрат – 38,75%). Необходимо помнить, что всегда больше берут того исходного продукта, жирность которого ближе к жирности получаемого продукта.

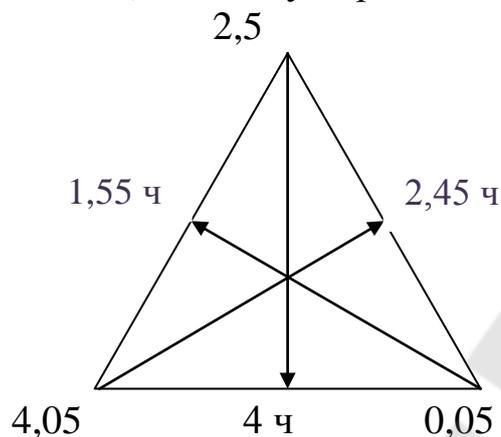
Затем части исходных продуктов складываем ( $2,45 + 1,55 = 4,0$ ) и узнаем, сколько получаемого продукта приходится на 1 часть (2000 кг: 4 ч = 500 кг). После этого определяем, сколько необходимо взять исходных продуктов, чтобы получить 2 т молока жирностью 2,5 %: молока – 1225 кг ( $500 \cdot 2,45$ ), обрата – 775 кг ( $500 \cdot 1,55$ ).

Проверка (по жировому балансу)

$$1225 \cdot 4,05 = 4961,25 \text{ ж.ед.}$$
$$775 \cdot 0,05 = 38,75 \text{ ж.ед.}$$

$4961,25 + 38,75 = 5000$  ж.ед. – количество ж.ед. в исходном сырье;  
 $2000 \cdot 2,5 = 5000$  ж.ед. – количество ж.ед. в полученном продукте.

Рассмотрим решение, используя правило треугольника.



У основания равнобедренного треугольника проставляем жирность исходных продуктов: слева – большую (4.05), справа – меньшую (0.05), а на вершине – нужный % жира (2.5). По сторонам треугольника производим вычитания (от большего – меньшее) и результаты записываем на соответствующей стороне. Медианы треугольника показывают, по сколько частей необходимо взять исходных молока и обраты, чтобы получить 4 части молока жирностью 2,5 %. Далее решение такое же, как и с помощью квадрата.

Можно также применить систему двух уравнений. Количества исходных молока и обраты, которые необходимо взять для получения 2 т молока жирностью 2,5 %, обозначим соответственно через «x» и «y». Тогда получим систему двух уравнений, решив которую, мы узнаем, сколько необходимо взять молока и обраты

$$\begin{cases} x + y = 2000, \\ 4,05x + 0,05y = 5000. \end{cases}$$

### 1.1.8 Расчеты при сепарировании

Чтобы определить, сколько будет получено сливок с заданным процентом жира, необходимо знать количество и жирность молока, которое предстоит просепарировать. Массу сливок ( $M_c$ ) с заданным процентом жира рассчитывают по формуле

$$M_c = \frac{M_m \cdot (J_m - J_o)}{J_c - J_o}, \quad (1.7)$$

где  $M_m$  – масса молока, кг;  
 $J_m$  – жирность молока, %;  
 $J_o$  – содержание жира в обрате, %;  
 $J_c$  – жирность сливок, %.

Пример: Необходимо просепарировать 300 кг молока жирностью 3,5 % и получить сливки, содержащие 25 % жира. Содержание жира в обрате 0,05 %. Рассчитать, сколько будет получено сливок.

Подставляем в формулу

$$M_c = \frac{300 \cdot (3,5 - 0,05)}{25 - 0,05} = 41,5 \text{ кг.}$$

Чтобы определить, сколько необходимо просепарировать молока для получения определенного количества сливок заданной жирности, формулу преобразуют

$$M_m = \frac{M_c (J_c - J_o)}{J_m - J_o}. \quad (1.8)$$

Пример: Рассчитать, сколько необходимо просепарировать молока жирностью 3,6 %, чтобы получить 200 кг сливок жирностью 30 %. Содержание жира в обрате 0,05 %.

Подставляем в формулу

$$M_m = \frac{200 \cdot (30 - 0,05)}{3,6 - 0,05} = 1687 \text{ кг.}$$

### 1.1.9 Расчеты в маслоделии

Выход масла при сбивании сливок зависит от степени использования жира сливок и от потерь, связанных с технологическим процессом. Содержание жира в пахте зависит от жирности и температуры сбиваемых сливок, степени наполнения маслоизготовителя и других факторов.

Массу масла ( $M_{mc}$ ), получаемого в маслоизготовителе, рассчитывают по формуле

$$M_{mc} = \frac{M_c \cdot (J_c - J_{п})}{(J_m - J_{п}) \cdot k}, \quad (1.9)$$

где  $M_c$  – масса сливок, кг;  
 $J_c$  – жирность сливок, %;  
 $J_{п}$  – содержание жира в пахте, %;  
 $J_m$  – содержание жира в масле, %;  
 $k$  – коэффициент потерь, равный 1,0034.

Пример: Рассчитать, сколько будет получено масла, содержащего 72,5 % жира, из 300 кг сливок жирностью 32 %, если в пахте остается 0,3 % жира.

Подставляем в формулу

$$M_{mc} = \frac{300 \cdot (32 - 0,3)}{(72,5 - 0,3) \cdot 1,0034} = 131,3 \text{ кг.}$$

Степень использования жира сливок ( $J_{ст}$ , %) не должна быть ниже 99,3 %. Ее рассчитывают по формуле

$$J_{ст} = \frac{M_c \cdot J_c - M_{п} \cdot J_{п}}{m_c \cdot J_c} \cdot 100, \quad (1.10)$$

где  $M_{п}$  – масса пахты, кг.

Пример: Рассчитать степень использования жира сливок в предыдущем примере.

Подставляем в формулу

$$J_{ст} = \frac{300 \cdot 32 - (300 - 131,3) \cdot 0,3}{300 \cdot 32} \cdot 100 = 99,47 \text{ \%}.$$

1.1.10 Расчет молокоперерабатывающих предприятий с хозяйствами за проданное молоко

Денежная выручка хозяйства за реализованное государству молоко зависит от количества проданного молока, его сорта, химического состава и температуры.

Закупочные цены установлены в расчете за одну тонну молока, которое содержит базисную норму массовой доли жира (3,6 %) и белка (3,0 %) и имеет температуру в момент приемки не выше 10 °С.

При расчете денежной выручки можно придерживаться следующей методики.

1. Количество проданного молока в килограммах пересчитываем на базисную жирность (по формуле 1.2).

2. Делаем соответствующую скидку с закупочной цены, если молоко (высшего, первого или второго сорта) в момент закупки имеет температуру выше 10 °С.

3. Закупочную цену приводим в соответствие с фактическим содержанием белка в молоке. Для этого необходимо закупочную цену на молоко (с учетом сорта и температуры) умножить на белковый коэффициент, который рассчитывают по формуле

$$k_6 = \frac{B_\phi}{B_6}, \quad (1.11)$$

где  $k_6$  – белковый коэффициент;

$B_\phi$  – фактическое содержание белка в молоке, %;

$B_6$  – базисное содержание белка в молоке, %.

Белковый коэффициент рассчитывают до сотых долей, т.е. после запятой должно быть пять знаков. Массовую долю белка в молоке определяют не реже одного раза в декаду.

4. Рассчитанную закупочную цену умножаем на количество молока базисной жирности.

При расчете денежной выручки за проданное молоко математические действия можно производить и в другой очередности. Однако в любом случае необходимо рассчитать массу молока, подлежащего оплате (количество молока базисной жирности), и пересчитать закупочную цену (с учетом температуры молока и содержания в нем белка).

## 1.2 Исходные данные для расчета

**Задание 1.** Рассчитать, сколько необходимо израсходовать молока базисной жирности  $M_{бж}$ , кг для получения  $m_{мс}$ , кг сливочного масла, содержащего  $J_{мс}$ , % жира. Содержание жира в обрате и пахте принять соответственно 0,05 и 0,4 %.

**Задание 2.** Имеется молоко жирностью  $J_m$ , % и обрат, содержащий 0,05 % жира. Необходимо получить  $M_m$ , т молока жирностью 2,5 %. Рассчитать, сколько следует взять исходного молока и обрата. Решать задачу используя правило треугольника/квадрата для четных/нечетных вариантов.

Таблица 1.1 – Варианты индивидуальных заданий

В-нт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$J_{мс}$ , %	81,5	72,5	62	70	77	61,5	52	98	81,5	72,5	62	70	77	61,5	52	98	81,5	72,5	62	70	77	61,5	52	98	81,5	72,5	62	70	77	61,5
$M_{мс}$ , кг	200	320	250	370	210	340	270	310	400	330	170	140	390	230	190	180	325	420	360	290	150	300	260	380	280	440	220	160	285	415
$J_m$ , %	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,5	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	3,9	4,1	4,0	3,8	4,5	4,0	3,6	3,7	3,8	3,9	3,1	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,5	4,0	4,1
$M_m$ , кг	800	620	750	570	710	640	870	910	600	830	770	740	690	930	590	680	825	720	560	690	750	900	760	880	780	940	920	860	585	815

## Практическая работа № 2.

### Тема: Расчет машины для мойки плодов и овощей

Цель работы: изучение классификации моечных машин, устройства и принципа действия линейной моечной машины, приобретение практических навыков по расчету моечных машин.

Задание: выполнить расчет линейной моечной машины, если заданы скорость транспортера  $v_c$ , м/с; длина зеркала воды в ванне  $A$ , м; диаметр трубопровода  $d_t$ , м; длина трубопровода  $l_t$ , м; длина транспортера  $L$ , м; вид перерабатываемого сырья.

### 2.1 Теоретическая часть

Мойка определяет качество конечного продукта, причем ее режимы зависят от видов загрязнений. Если пищевое сырье обычно загрязнено частицами почвы, песка, остатками ботвы и т. п., то на поверхности тары содержатся сложные загрязнения, состоящие из жидкой и твердой фаз (жиры, частицы консервируемого продукта и т.д.). Состав загрязнений обуславливает разнообразие их механических свойств, различие в величине сил сцепления с поверхностью сырья или тары.

Для подавления жизнедеятельности микроорганизмов, входящих, как правило, в состав загрязнений, тара перед заполнением консервируемым продуктом подвергается дезинфекции. Дезинфекцию отмытых поверхностей проводят осветленным раствором с массовой долей хлорной извести 5 % или раствором с массовой долей гидроксида  $\text{NaOH}$  – 0,5 % или хлорамином.

Для мойки используются следующие моющие средства: анионо- и катионоактивные, амфолитные и неионогенные. Моющий раствор должен обеспечить смачивание поверхностей, диспергирование загрязнений (набухание, пептизация и дробление белковых веществ, омыление жиров) и стабилизацию отделившихся от поверхности загрязнений в моющем растворе.

Смачивание отмываемых поверхностей зависит от поверхностного натяжения моющего и межфазного раствора и межфазного натяжения на границе жидкость - твердое тело. Наиболее эффективное смачивание и мойка обеспечиваются при минимальном поверхностном натяжении моющего раствора. Для этого используют два метода снижения поверхностного натяжения воды или моющего раствора: тепловой и использующий поверхностно-активные вещества (ПАВ).

В зависимости от вида отмываемых поверхностей в состав моющего раствора входят разные вещества: эмульгирующие жиры и омыляющие жирные кислоты - едкая щелочь; пептизирующие белки и снижающие жесткость воды – тринатрийфосфат и др.; предотвращающие коррозию металла - жидкое стекло и ПАВ. Количество каждого компонента определяется видом и свойством отмываемых поверхностей.

Чистота отмываемых поверхностей определяется по отсутствию следов загрязнений, моющих средств и по количеству микроорганизмов на них.

В настоящее время для мойки пищевого растительного сырья, тары и санитарной обработки оборудования применяются моечные машины различных типов и конструкций. Они классифицируются следующим образом: в зависимости от характера процесса (непрерывно и периодически действующие); от вида обрабатываемых объектов (для мойки сырья и мойки тары); по типу устройств, перемещающих отмываемые объекты (линейные и барабанные); по способу воздействия моющей среды (шприцевые, отмочные и отмочно-шприцевые).

Интенсификация процесса мойки при оптимальной температуре моющего раствора возможна за счет использования более эффективных моющих растворов либо турбулизации моющего раствора у загрязненных поверхностей. Движение моющего раствора у отмываемых поверхностей оказывает механический разрушающий эффект на загрязнения и ускоряет физико-химическое взаимодействие. Оно осуществляется разными способами: турбулизацией моющего раствора воздушным барботированием; механическим перемешиванием моющего раствора лопастями, насадками и т. д.; приведением моющего раствора в колебательное движение с помощью динамических вибраторов или гидродинамических излучателей; турбулизацией моющего раствора затопленными струями и т. д.

К моечным машинам предъявляются следующие требования: высокая степень чистоты отмываемых объектов, исключение порчи сырья или боя и деформации тары, минимальный расход воды и энергии, простота изготовления и обслуживания, высокая эксплуатационная надежность, малые габаритные размеры и масса.

Для мойки сырья используется обычно проточная или обратная водопроводная вода. После отмочки загрязнения с поверхности сырья удаляются щетками или жидкостными струями.

Из многообразия моечных машин (рис. 2.1) наибольшее распространение получили лопастные, ленточные, барабанные, вибрационные, комбинированные, элеваторные, щеточные и др. Выбор моечной машины определяется структурно-механическими и прочностными свойствами растительного сырья, а также характером и количеством загрязнений на поверхности сырья.



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 - Линейные моечные машины: а – барабанного типа; б - щеточная; 3 – элеваторного типа.

Мойку растительного сырья производят погружением в воду (отмочка), ополаскиванием струями воды из насадок, использованием щеточных устройств, активным перемешиванием. В большинстве моечных машин применяют комбинацию перечисленных способов мойки.

Мойка предусматривает удаление с поверхности сырья остатков земли, песка, посторонних тяжелых и легких примесей (камни, листья, ветки, солома и др.). Для каждого вида сырья требуется свой способ и режим мойки.

Линейная моечная машина элеваторного типа КУМ-1 (рис. 2.2) предназначена для мойки различных овощей и плодов, как с мягкой, так и с твердой структурой. Она состоит из ванны 1, транспортерного полотна 2, душевого устройства 3 и привода 4. На каркасе ванны 1 смонтированы все узлы моечной машины.

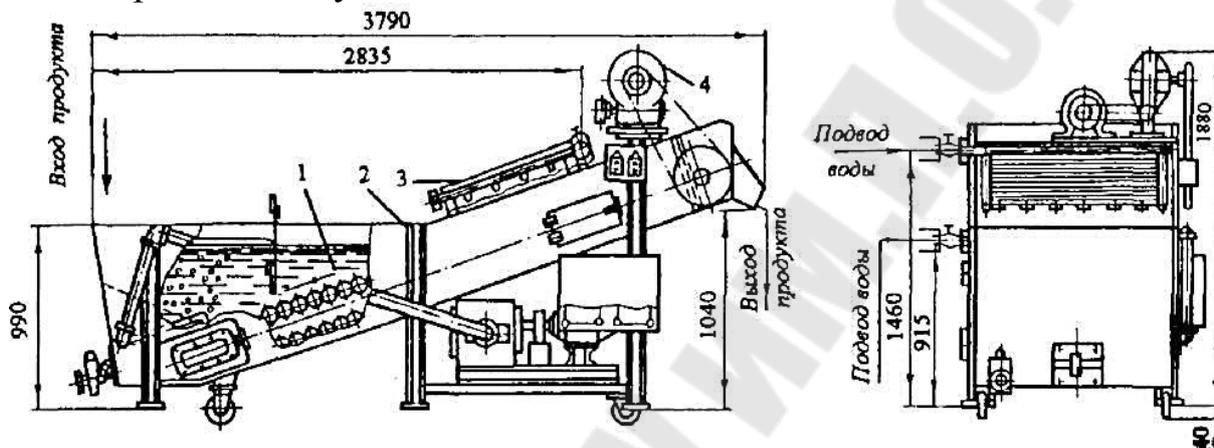


Рисунок 2.2 - Линейная моечная машина элеваторного типа: 1 - ванна; 2 - транспортерное полотно; 3 - душевое устройство; 4 - привод

При работе машины плоды поступают в моечное пространство ванны непрерывно. Для более интенсивной мойки загрязненный продукт активно перемешивается за счет подводимого от нагнетателя сжатого воздуха. Вымытый продукт из моечного пространства перемещается наклонным транспортером, в верхней части которого (перед выгрузкой) он ополаскивается водой из душевого устройства.

Выгрузка продукта производится через лоток, регулируемый по высоте. Величина слоя продукта, поступающего на транспортерное полотно, регулируется заслонкой. Вода, поступающая в ванну через ополаскивающий душ, удаляется через сливную щель. Чистка ванны производится через грязевой люк и боковые окна.

## 2.2 Расчетная часть

Исходные данные:  $v_c = 0,178$  м/с;  $A_{з.в.} = 1,73$  м; диаметр трубопровода  $d_T = 0,42$  м; вид перераб. сырья – лук; длина трубопровода  $l_{тр} = 9,6$  м; длина транспортера  $L = 3,7$  м.

Производительность  $Q$ , кг/с, линейных моечных машин определяется производительностью рабочего транспортера

$$Q = b \cdot h_c \cdot \varphi_c \cdot \rho_c \cdot v_c \quad (2.1)$$

$$Q = 0,7 \cdot 0,05 \cdot 0,6 \cdot 510 \cdot 0,178 = 1,906$$

где  $b$  - ширина рабочей части транспортера, м (определяется шириной инспекционного транспортера, которая составляет 0,6...0,9 м);  $h_c$  - высота слоя сырья, м (табл. 2.1);  $\varphi_c$  - коэффициент использования транспортера ( $\varphi_c = 0,6...0,7$ );  $\rho_c$  - насыпная плотность сырья, кг/м<sup>3</sup> (табл. 2.1);  $v_c$  - скорость транспортера, м/с.

Таблица 2.1 - Насыпная плотность плодов и овощей

Сырье	Высота слоя сырья, $h_c$ , м	Насыпная плотность $\rho_c$ , кг/м
Кабачки	0,14	450...500
Перец	0,08	200...300
Баклажаны	0,16	330...430
Томаты	0,06	580...630
Лук	0,05	490...520
Яблоки	0,07	430...580
Груши	0,06	450...510
Сливы	0,03	530...680
Морковь	0,05	560...590

Время отмочки сырья  $\tau$ , с, определяется полезным объемом ванны  $V_{п.в.}$ , м<sup>3</sup>

$$\tau = \frac{V_{п.в.} \cdot \rho_c}{Q} \quad (2.2)$$

$$\tau = \frac{0,415 \cdot 510}{1,906} = 111,075$$

Полезный объем ванны  $V_{п.в.}$  определяется площадью зеркала воды в ванне  $F_3$ , м<sup>2</sup>. При обычной призматической форме ванны

$$V_{п.в.} = \frac{F_3 \cdot H_{\Pi}}{2} = \frac{1,384 \cdot 0,6}{2} = 0,415 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

где  $H_{\Pi}$  - глубина наиболее погруженной точки несущей ветви транспортера (обычно  $H_{\Pi} = 0,5...0,7$  м).

Площадь зеркала воды в ванне моечной машины  $F_3$ , м<sup>2</sup>:

$$F_3 = A_{з.в.} \cdot B = 1,73 \cdot (0,7 + 0,1) = 1,384 \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

где  $A_{з.в}$  - длина зеркала воды в ванне, м;  $B$  - расстояние между боковыми стенками ванны, м ( $B = b + 0,1$ ).

Количество воздуха и необходимый напор, под которым он должен подаваться в барботер, определяются размерами зеркала воды в ванне и глубиной погружения отверстия истечения воздуха из барботеров. Практикой эксплуатации моечных машин установлена следующая норма:  $1,5 \text{ м}^3$  воздуха в минуту на  $1 \text{ м}^2$  площади зеркала воды, т.е.

$$W_B = \frac{1,5 \cdot F_3}{60} = \frac{1,5 \cdot 1,384}{60} = 0,035 \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

Нагнетатель воздуха для моечной машины выбирается по расходу воздуха  $W_B$  и необходимому напору  $P_B$ .

Поскольку длина воздуховода для подвода воздуха к барботерам и скорость воздуха в воздуховоде малы, потерями по длине воздуховода можно пренебречь, тогда  $P_B$ , Па:

$$P_B = \frac{\rho_B \cdot v_B^2}{2} \cdot (1 + \Sigma \xi) + \rho_{ж} \cdot h_{ж} \cdot g \quad (2.6)$$

$$P_B \frac{1,3 \cdot 10^2}{2} \cdot (1 + 0,4) + 1000 \cdot 0,7 \cdot 9,81 = 6958 \text{ Па}$$

где  $\rho_B$  - плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_B = 1,3 \text{ кг/м}^3$ );  $v_B$  - скорость воздуха в воздуховоде, м/с ( $v_B$  рекомендуется не более 10 м/с);  $\xi$  - коэффициент местного сопротивления (в расчете принимать  $\Sigma \xi = 0,30 \dots 0,45$ );  $\rho_{ж}$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$ );  $h_{ж}$  - глубина погружения в воду отверстий барботера, м ( $h_{ж} = H_{П} + 0,1 \text{ м}$ );  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

Мощность электродвигателя для привода нагнетателя воздуха  $N_{ЭДБ}$ , кВт

$$N_{ЭДБ} = \frac{W_B \cdot P_B}{1000 \cdot \eta_B} = \frac{0,035 \cdot 0,2 \cdot 10^6}{1000 \cdot 0,8} = 8,65 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

где  $W_B$  - расход подаваемого воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $P_B$  - необходимый напор, Па ( $P_B = 0,15 \dots 0,20 \text{ МПа}$ );  $\eta_B$  - КПД нагнетателя ( $\eta_B = 0,6 \dots 0,8$ ).

Мощность, необходимая для привода центробежного насоса, подающего жидкость к душевым или шприцевым устройствам  $N_{душ}$ , Вт, определяется по формуле, аналогичной описанной выше:

$$N_{душ} = \frac{Q_{ж} \cdot P_{ж}}{1000 \cdot \eta_{ж}} = \frac{0,617 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{1000 \cdot 0,85} = 217,703 \text{ Вт} \quad (2.8)$$

где  $Q_{ж}$  - расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $P_{ж}$  - напор жидкости у насоса, Па

( $P_{ж} = 0,2...0,3$  МПа);  $\eta_n$  - КПД насоса ( $\eta_n = 0,70...0,85$ ).

Расход жидкости  $Q_{ж}$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_{ж} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{И}}{\rho_{ж}}} \quad (2.9)$$

$$Q_{ж} = 0,95 \cdot \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \cdot 60 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,3}{1000}} = 0,617 \text{ м}^3 / \text{с}$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода (для цилиндрической насадки  $\mu = 0,82$ ; для конической сходящейся  $\mu = 0,95$ ; для конической расходящейся  $\mu = 0,48$ ; вид насадки выбирается самостоятельно);  $d$  - диаметр отверстия барботера, м (выбирается равным 1,25; 0,75; 1,50; мм в зависимости от вида перерабатываемого сырья, меньшие значения выбираются для мелких плодов и овощей);  $n$  - количество одинаковых отверстий барботера (в расчете принимается  $n = 50...60$ );  $P_{И}$  - напор жидкости у отверстия истечения, Па (в расчете принимается  $P_{И} = P_{ж} = 0,2...0,3$  МПа);  $\rho_{ж}$  - плотность моющей жидкости, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{ж} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

Потеря напора, Па:

$$P_{П} = \frac{\rho_{жс} \cdot v_{жс}^2}{2} \cdot \left[ 1 + \sum \left( \xi + \lambda_{жс} \cdot \frac{l_m}{d_m} \right) \right] \quad (2.10)$$

$$P_{П} = \frac{1000 \cdot 2^2}{2} \cdot \left[ 1 + \left( 0,85 + 0,005 \cdot \frac{9,6}{0,42} \right) \right] \cdot 10^{-6} = 0,004 \text{ МПа}$$

где  $v_{жс}$  - скорость жидкости в трубопроводе, м/с ( $v_{жс}$  рекомендуется не более 2 м/с);  $\xi$  - коэффициент местного сопротивления (выбирается по справочнику, в расчете принять  $\xi = 0,85$ );  $\lambda_{жс}$  - коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода;  $l_m$  - длина трубопровода, м;  $d_m$  - диаметр трубопровода, м.

Коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода определяется по следующим формулам

$$\lambda_{жс} = \left( \frac{0,555}{\text{Re}} \right)^2 = 0,005 \quad (2.11)$$

при  $\text{Re} \geq 100\,000$ ;

здесь  $\text{Re}$  - число Рейнольдса,

$$Re = \frac{v_{ж} \cdot d_{т} \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}} \quad (2.12)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,42 \cdot 1000}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 831,7 \cdot 10^6$$

где  $\mu_{ж} = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  - кинематическая вязкость моющей жидкости.

Напор жидкости у насоса:

$$P_{ж.н} = P_{И} + P_{П} = 0,3 + 0,004 = 0,304 \text{ МПа} \quad (2.13)$$

где  $P_{П}$  - потеря напора от местных и путевых сопротивлений, Па.

Мощность  $N_{мп}$ , кВт, для привода основного транспортера

$$N_{тр} = \frac{A_{т} \cdot v_{с}}{1000 \cdot \eta} = \frac{590,389 \cdot 0,178}{1000 \cdot 0,75} = 0,14 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

где  $A_{м}$  - тяговое усилие транспортера, Н;  $v_{с}$  - скорость транспортера, м/с;

$\eta$  - КПД передаточных механизмов ( $\eta = 0,61 \dots 0,78$ ).

Тяговое усилие определяется методом обхода контура с учетом максимальной загрузки. Ориентировочно тяговое усилие  $A_{м}$ , Н·м, можно определить по формуле:

$$A_{т} = (0,215 \cdot q_0 \cdot L_{т} + 50 + 0,215 \cdot q \cdot L) \cdot g \quad (2.15)$$

$$A_{т} = (0,215 \cdot 12 \cdot (0,65 \cdot 3,7) + 50 + 0,215 \cdot 5 \cdot 3,7) \cdot 9,81 = 590,389 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где  $q_0$  - масса полезной нагрузки на 1 м транспортера, кг ( $q_0 = 8 \dots 12$  кг);  $q$  - масса 1 м транспортера без груза, кг ( $q = 4,4 \dots 5,1$  кг);  $L_{т}$  - длина груженной части транспортера, м ( $L_{т} = 0,65 \cdot L$ );  $L$  - длина транспортера, м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> - ускорение свободного падения.

Выбираем электродвигатель: для привода нагнетателя воздуха – АИР132М4 N=11кВт; для привода центробежного насоса, подающего жидкость к душевым устройствам – АИР 56 В2 N = 0,25 кВт; для привода основного транспортера – АИР 56 А2 N = 0,18 кВт.

**Вывод:** в ходе работы изучена классификация моечных машин, устройство и принцип действия линейной моечной машины, произведен расчет моечной машины.

## 2.3 Исходные данные для расчета моечной машины

Таблица 2.1 – Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Скорость транспорта $v_c$ , кг/с	Вид перерабатываемого сырья	Длина зеркала воды $A$ , мм	Диаметр трубопровода $d_T$ , рад/с	Длина трубопровода $l_T$ , м	Длина транспорта $L$ , м
1	0,30	кабачки	1,94	0,30	8,0	3,6
2	0,31	перец	1,92	0,31	8,5	3,8
3	0,32	баклажаны	1,90	0,32	9,0	3,4
4	0,33	томаты	1,88	0,33	9,5	4,0
5	0,34	лук	1,86	0,34	10,0	3,2
6	0,35	яблоки	1,84	0,35	10,5	3,1
7	0,40	груши	1,82	0,40	11,0	3,9
8	0,41	сливы	1,80	0,41	11,5	3,3
9	0,42	морковь	1,81	0,42	12,0	3,7
10	0,43	груши	1,83	0,43	8,3	3,5
11	0,44	кабачки	1,85	0,44	8,7	3,1
12	0,45	перец	1,87	0,45	9,3	3,6
13	0,36	баклажаны	1,89	0,36	9,8	3,9
14	0,37	томаты	1,91	0,37	10,3	4,0
15	0,35	лук	1,93	0,35	10,8	3,2
16	0,39	яблоки	1,78	0,39	11,2	3,0
17	0,40	груши	1,78	0,40	11,7	4,8
18	0,43	сливы	1,76	0,43	12,4	4,6
19	0,41	морковь	1,74	0,41	8,1	4,4
20	0,34	перец	1,72	0,34	8,4	4,2
21	0,38	баклажаны	1,71	0,38	9,4	4,0
22	0,32	томаты	1,73	0,32	9,6	3,2
23	0,30	лук	1,75	0,30	10,9	3,6
24	0,31	яблоки	1,77	0,31	10,7	3,8
25	0,33	груши	1,79	0,33	11,9	3,1
26	0,49	томаты	1,86	0,49	11,1	3,3
27	0,47	сливы	1,84	0,47	12,7	3,5
28	0,40	морковь	1,82	0,40	8,2	3,7
29	0,45	перец	1,80	0,48	8,9	3,9
30	0,44	кабачки	1,81	0,46	9,3	4,3

## 2.4 Контрольные вопросы.

1. Какие виды моечных машин вы знаете?
2. Каково устройство и принцип работы линейной моечной машины?
3. Какие моющие растворы применяются для мойки тары и санитарной обработки оборудования в пищевой промышленности?
4. Каков механизм удаления загрязнений с отмываемой поверхности?
5. За счет чего можно интенсифицировать процесс мойки пищевого растительного сырья?

5. От каких параметров зависит производительность линейной моечной машины?
6. За счет каких факторов можно повысить эффективность работы линейных моечных машин?
7. Какими способами производится мойка растительного сырья?

### Практическая работа №3

#### Тема: Расчет сепаратора

Цель работы: изучение теоретических основ процесса сепарирования; знакомство с классификацией сепараторов, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета сепаратора.

Задание: выполнить расчет сепаратора если заданы:  $\omega$  - угловая скорость вращения барабана, рад/с;  $R_6$  и  $R_m$  - внешний и внутренний радиусы тарелок, м;  $R_d$  - максимальный диаметр диска, м;  $V$  - объем шламового пространства, м<sup>3</sup>;  $m_6$  - масса барабана, кг;  $c$  - расстояние от верхнего подшипника до центра тяжести, м;  $l$  - расстояние между верхним и нижним подшипником, м;  $G$  - масса вращающихся частей сепаратора с сепарируемой жидкостью, кг.

#### 3.1 Теоретическая часть.

Сепараторы могут быть классифицированы по следующим признакам:

- технологическое назначение;
- конструкция барабана;
- способ выгрузки осадка (шлама);
- принцип и характер выгрузки осадка;
- конструкция устройства для выгрузки осадка;
- способ подвода исходной гетерогенной системы и отвода продуктов сепарирования; область применения (отрасль промышленности);
- вид привода сепаратора.

По технологическому назначению сепараторы делятся на три основных класса:

- 1) сепараторы-разделители для разделения смеси жидкостей, не растворимых одна в другой, и для концентрирования суспензий и эмульсий;
- 2) сепараторы-осветлители для выделения твердых частиц из жидкости;
- 3) комбинированные сепараторы для выполнения двух или более операций переработки жидкой смеси.

Комбинированные сепараторы называют универсальными, что подчеркивает их многостороннее назначение. К ним относят сепараторы, в которых процесс разделения совмещается с каким-либо другим процессом. Так, известны сепараторы-экстракторы, сепараторы-реакторы.

К классу сепараторов-осветлителей можно отнести сепараторы-классификаторы для дальнейшего диспергирования (гомогенизации) дисперсной фазы эмульсий и их очистки от примесей (их относят к комбинированным) и сепараторы для удаления из жидкостной системы микроорганизмов, скапливаемых в шламовом пространстве вместе с другими механическими примесями.

По конструкции сепараторы разделяют на *тарельчатые и камерные*. Ротор тарельчатых сепараторов укомплектован пакетом конических тарелок, которые делят поток обрабатываемой жидкости на параллельно тонкие слои; ротор камерных сепараторов имеет реберную вставку (при одной камере) или комплект концентричных цилиндрических вставок, разделяющих его объем на кольцевые камеры, по которым обрабатываемая жидкость протекает последовательно.

Тарельчатые сепараторы, независимо от отрасли их применения и назначения, можно подразделить на два основных типа. Первый тип сепараторов имеет тарелки, обеспечивающие подачу жидкости в межтарелочные пространства через отверстия, имеющиеся в самих тарелках.

Такие сепараторы часто называют сепараторами с центральной подачей жидкости на тарелки. К этому типу относятся и сепараторы, в которых жидкость на вершину тарелок поступает из прорезей в тарелкодержателях.

Второй тип сепараторов характеризуется тем, что жидкость в межтарелочные пространства поступает с периферии и движется к центру барабана. Тарелки в этих сепараторах отверстий не имеют.

По способу подвода исходной гетерогенной системы и отвода продуктов сепарирования различают сепараторы трех типов: *открытые, полузакрытые и герметические*.

В *открытых* сепараторах подача в ротор жидкой смеси и отвод полученных жидких фракций осуществляются открытым потоком. Процесс сепарирования не изолирован от доступа воздуха.

В *полузакрытых* сепараторах жидкость подается в ротор открытым или закрытым потоком, а отвод одной или обеих жидких фракций происходит под давлением по закрытым трубопроводам. Процесс

сепарирования не изолирован от доступа воздуха. Роторы полузакрытого типа отличаются от роторов открытого типа наличием устройства для вывода продуктов сепарирования под давлением.

В *герметических* сепараторах подача в ротор исходной жидкости и отвод жидких фракций происходят под давлением по закрытым трубопроводам, герметически соединенным с выпускными патрубками, процесс сепарирования в них изолирован от доступа воздуха. Роторы герметических сепараторов отличаются от роторов открытых и полузакрытых сепараторов конструкцией подводящих и отводящих устройств.

По виду привода сепараторы подразделяют на три группы: с *ручным, комбинированным и электромеханическим* приводом.

Основные элементы сепараторов: барабан, приводной механизм, станина, коммуникация для подвода и отвода продуктов сепарирования.

Рабочим органом сепаратора, в котором происходит процесс разделения, является **барабан**.

Принцип действия сепаратора-разделителя (рис. 3.1 а) заключается в следующем. Исходная гетерогенная система по центральной трубке поступает в тарелкодержатель, откуда по каналам, образованным отверстиями в тарелках, поднимается вверх и растекается между тарелками. Под действием центробежной силы легкая фракция оседает на верхнюю поверхность нижележащей тарелки. По этой поверхности легкая фракция движется к центру барабана, далее по зазору между кромкой тарелки и тарелкодержателем поднимается вверх барабана и отводится из сепаратора.

Тяжелая фракция в межтарелочном пространстве оттесняется к нижней поверхности тарелки, фракция движется по этой поверхности к периферии тарелки, и далее по зазору между разделительной тарелкой и крышкой барабана поднимается вверх барабана и отводится из сепаратора.

Сущность процесса осветления (рис. 3.1 б) заключается в следующем. Продукт, подвергаемый очистке, по центральной трубке поступает в тарелкодержатель, из которого направляется в шламовое пространство между кромками пакета тарелок и крышкой. Жидкая фаза поступает в межтарелочные пространства. По межтарелочным зазорам она поднимается вверх и через прорезь выходит из барабана.

Саморазгружающиеся сепараторы разделяются на две основные группы: с непрерывным и пульсирующим отводом осадка. В сепара-

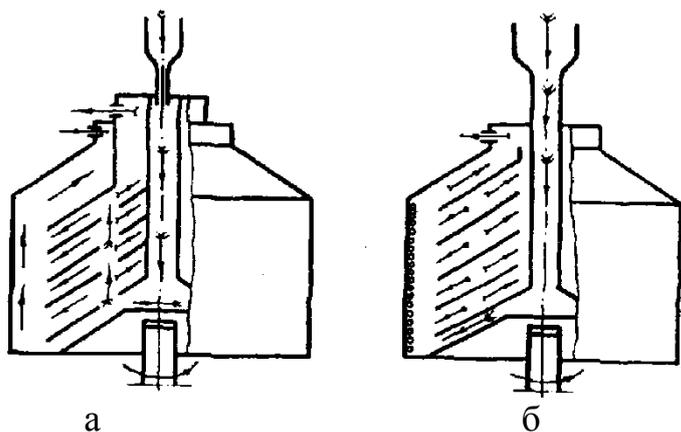


Рисунок 3.1 - Схема процесса разделения (а) и осветления (б) в барабанах тарельчатых сепараторов.

торах с непрерывным отводом осадка последний удаляется вместе с частью жидкой фазы через сопла в виде концентрированной тяжелой фракции. В сепараторах с пульсирующим отводом осадка последний выбрасывается из барабана при перемещении подвижного элемента, открывающего разгрузочные щели на периферии барабана.

При полной разгрузке периодически прекращается поступление продукта на сепарирование, разгрузочные щели барабана открываются, и все его содержимое, то есть выделенный осадок и жидкая фаза, выбрасывается в приемник.

Основные конструктивные факторы, которые оказывают влияние на эффективность процесса сепарирования: *частота вращения барабана, размеры барабана и тарелок, расстояния между тарелками.*

Сепаратор-сливкоотделитель (рис. 3.2) состоит из станины 17 с приводным механизмом, приемно-отводящего устройства 12, гидроузла, чаши станины с приемником осадка 7 и глушителя, а также из пульта управления.

Молоко подается по трубопроводу и центральной трубке приемно-отводящего устройства во вращающееся сепарирующее устройство. В это время поршень сепарирующего устройства закрыт. В полости под поршнем находится вода. При работе сепаратора происходит незначительное ее вытекание из сепарирующего устройства и патрубка станины при подпитке. Для герметизации системы поршень поджимается к прокладке силой гидростатического давления. Молоко подается в сепарирующее устройство, проходит через отверстия в тарелкодержателе и вертикальные каналы пакета, распределяется в межтарелочных пространствах, разделяясь на сливки, отесняемые к оси вращения, и обезжиренное молоко, отесняемое к периферии сепарирующего устройства. Сливки и обезжиренное молоко выводятся через камеры напорных дисков.

Твердые частицы и тяжелые примеси поступают в периферийный объем сепарирующего устройства, где происходит их накопление и уплотнение. Во избежание потерь молока применяют только частичную выгрузку осадка при открытии каналов.

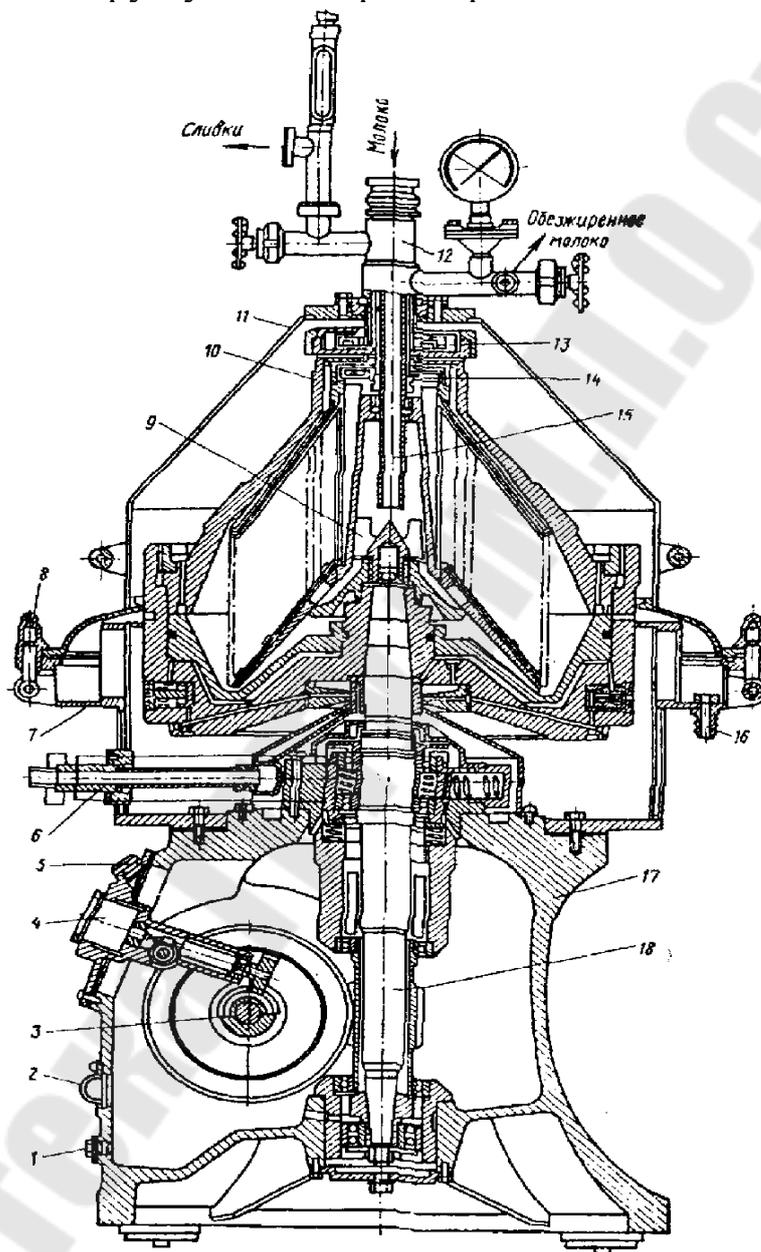


Рисунок 3.2 - Сепаратор-сливкоотделитель с пульсирующей выгрузкой осадка: 1 - пробка спуска масла; 2 - указатель уровня масла; 3 - горизонтальный вал; 4 - тахометр; 5 - пробка залива масла; 6 - трубка подвода воды в сепарирующее устройство; 7 - приемник осадка; 8 - зажим; 9 - гайка; 10 - сепарирующее устройство; 11 - крышка; 12 - приемно - отводящее устройство; 13, 14 - напорные диски; 15 - центральная трубка; 16 - штуцер подвода воды; 17 - станина; 18 - вертикальный вал.

Разгрузку сепараторов осуществляют в один или два этапа. При одноэтапной разгрузке осадок выгружается без перекрытия устройства для подачи исходного продукта. Однако во избежание потерь продукта в период раскрытия сепарирующего устройства выгружается не весь осадок, а лишь его часть. При двухэтапной разгрузке сначала перекрывается устройство для подачи исходного продукта и удаляется жидкость из межтарелочного пространства, а затем уже открываются щели для выгрузки, в результате чего осадок выбрасывается из сепарирующего устройства в приемник под действием центробежной силы.

### 3.2 Расчетная часть

Исходные данные к расчету:

$$\omega = 610 \text{ с}^{-1}; R_{\text{б}} = 0,19 \text{ м}; R_{\text{м}} = 0,075 \text{ м}; R_{\text{д}} = 0,085 \text{ м}; V \cdot 10^{-3} = 5,6 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{б}} = 83 \text{ мм}; c = 0,34 \text{ м}; l = 0,58 \text{ м}; G = 108 \text{ кг}.$$

Марка сепаратора: сепаратор-кларификатор.

Производительность сепаратора  $\Pi$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi = 10^{-6} \cdot \beta \cdot \omega^2 \cdot z \cdot \text{tg} \alpha \cdot (R_{\text{б}}^3 - R_{\text{м}}^3) \cdot d^2 \cdot \left[ \frac{(\rho - \rho_0)}{4 \cdot \mu_{\text{мол}}} \right] \quad (3.1)$$

$$\Pi = 10^{-6} \cdot 0,4 \cdot 610^2 \cdot 310 \cdot \text{tg} 45^\circ \cdot (0,19^3 - 0,075^3) \times$$

$$\times 0,75^2 \cdot \left[ \frac{(1010 - 990)}{4 \cdot 0,9} \right] = 2,916$$

где  $\beta$  - поправочный коэффициент, учитывающий разницу между теоретическим и реальным процессом ( $\beta = 0,2 \dots 0,5$ );  $z = (130 \dots 350)$  шт - число тарелок;  $\alpha$  - угол наклона образующей конуса тарелки ( $\alpha = 45 \dots 60^\circ$ );  $d$  - эквивалентный диаметр частицы легкой фракции (размер жировых шариков), м;  $\rho_0$  и  $\rho$  - плотность сливок и молока, кг/м ( $\rho_0 = 960 \dots 1000$  кг/м;  $\rho = 1000 \dots 1030$  кг/м);  $\mu$  - динамическая вязкость продукта, Па·с;  $\mu_{\text{слив}} = (1,5 \dots 5,6) \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\mu_{\text{пах}} = 1,7 \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\mu_{\text{мол}} = (0,6 \dots 1,3) \cdot 10^{-3}$  Па·с.

Размер жировых шариков  $d$ , мм:

$$d = \left( \frac{m}{0,04} \right) + 0,5 = \left( \frac{0,01}{0,04} \right) + 0,5 = 0,75 \text{ мм} \quad (3.2)$$

где  $m$  - массовая доля жира в обезжиренном молоке ( $m = 0,01\%$ ).

Давление жидкости, выходящей из сепаратора  $p$ , Па,

$$p = \left( \frac{\rho_{\text{пах}}}{5 \cdot 10^{-5}} \right) \cdot (R_{\text{д}}^2 - r_{\text{к}}^2) = \left( \frac{1030}{5 \cdot 10^{-5}} \right) \cdot (0,085^2 - 0,015^2) = 144,2 \text{ кПа} \quad (3.3)$$

где  $\rho_{\text{пах}}$  - плотность обезжиренного молока (пахты),  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_{\text{пах}} = 1030 \text{ кг/м}^3$ );  $r_{\text{к}}$  - внутренний радиус кольца жидкости, м ( $r_{\text{к}} = 0,015 \text{ м}$ ).

Время непрерывной работы сепаратора между разгрузками  $\tau$ , ч

$$\tau = \frac{0,1 \cdot V}{\Pi \cdot a} = \frac{0,1 \cdot 5,6}{2,916 \cdot 0,3} = 0,64 \text{ ч} \quad (3.4)$$

где:  $a = 0,3 \%$  - объемная концентрация взвешенных частиц в сепарируемом продукте.

Критическая частота вращения вала  $\omega_{\text{кр}}$ , т.е. скорость, при которой происходит разрушение вала,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{l}{l - c} \cdot \sqrt{\frac{K}{m_{\text{б}}}} = \frac{0,58}{0,58 - 0,34} \cdot \sqrt{\frac{722130,28}{0,083}} = 7128,29 \text{ с}^{-1} \quad (3.5)$$

где  $K$  - сила, вызывающая прогиб вала на 1 м, Н/м, для сепаратора с жестко зацепленным (без амортизатора) верхним радиальным подшипником:

$$K = \frac{3 \cdot E \cdot I}{c^2 \cdot (c + l)} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,00000013}{0,34^2 \cdot (0,34 + 0,58)} = 722130,28 \text{ Н/м} \quad (3.6)$$

где  $E$  - модуль упругости материала вала, Н/м ( $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}$  для сталей);  $I$  - момент инерции сечения вертикального вала,  $\text{м}^4$

$$I = 0,05 \cdot d_{\text{в}}^4 = 0,05 \cdot 0,04^4 = 0,00000013 \text{ м}^4 \quad (3.7)$$

здесь  $d_{\text{в}}$  - диаметр вала, м ( $d_{\text{в}} = 0,040 \dots 0,045 \text{ м}$ ).

Мощность электродвигателя сепаратора  $N$ , работающего в установившемся режиме, кВт:

$$N = 1,2 \cdot \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_{\text{пр}}} = 1,2 \cdot \frac{1401,578 + 548,1 + 387,4}{0,95} = 2460,1 \text{ Вт} \quad (3.8)$$

где  $\eta_{\text{пр}}$  - КПД привода ( $\eta_{\text{пр}} = 0,92 \dots 0,95$ );

$N_1$  - мощность, затрачиваемая для сообщения выбрасываемой из сепаратора жидкости избыточного давления, кВт:

$$N_1 = \frac{\Pi \cdot p}{\eta_{\text{нд}} \cdot 1000} = \frac{2,916 \cdot 1,442 \cdot 10^5}{\eta_{\text{нд}} \cdot 1000} = 1401,578 \text{ Вт} \quad (3.9)$$

здесь  $p$  - давление жидкости на выходе, Па;  $\eta_{\text{нд}}$  - КПД напорного диска ( $\eta_{\text{нд}} = 0,3$ );

$N_2$  - мощность, необходимая для преодоления сил трения барабана о воздух, кВт:

$$N_2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_B \cdot F \cdot v_6^3 \quad (3.10)$$

$$N_2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,23 \cdot 0,159 \cdot 0,1159^3 = 548,1 \text{ Вт}$$

здесь:  $\rho_B$  - плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_B = 1,23 \text{ кг/м}^3$ );

$F$  - общая площадь поверхности трения барабана,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{\pi \cdot (R_6^2 - R_M^2)}{\cos \alpha} + 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot R_6 \cdot z \quad (3.11)$$

$$F = \frac{\pi \cdot (0,19^2 - 0,075^2)}{\cos 45^\circ} + 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 \cdot 310 = 0,159 \text{ м}^2$$

здесь:  $v_6$  - окружная скорость барабана,  $\text{м/с}$ :

$$v_6 = \omega \cdot R_6 = 610 \cdot 0,19 = 115,9 \text{ м/с} \quad (3.12)$$

$N_3$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках,  $\text{кВт}$ :

$$N_3 = \mu \cdot G \cdot g \cdot v_{ц} \cdot 10 = 0,003 \cdot 108 \cdot 9,8 \cdot 12,2 \cdot 10 = 387,4 \text{ Вт} \quad (3.13)$$

здесь  $\mu$  - коэффициент трения ( $\mu = 0,003$  для шарикоподшипников);  $v_{ц}$  - линейная скорость вращения вала,  $\text{м/с}$ :

$$v_{ц} = \frac{\omega \cdot d_B}{2} = \frac{610 \cdot 0,04}{2} = 12,2 \text{ м/с} \quad (3.14)$$

где  $d_B$  - диаметр вала,  $\text{м}$ .

Выбор электродвигателя ( $N=2090 \text{ Вт}$ , с частотой вращения вала  $\omega=610 \text{ с}^{-1}$ ): электродвигатель однофазный АИРЕ80 С2, мощностью  $N=3,0 \text{ кВт}$  и частотой вращения вала  $\omega=2950 \text{ об/мин}$  (с применением ременной передачи  $i=2$ ).

**Сепаратор-кларификатор ВСМ** предназначен для тонкого осветления различных пищевых суспензий: соков, морсов, мелассы.

Сепаратор состоит из станины 5, приводного механизма, барабана 4, приемно-выводного устройства 2 и тахометра.

В верхней части станины 5 крепится барабан 4, на котором смонтированы тормозные устройства 3. Внутренняя часть станины является масляной ванной зубчатых передач приводного механизма.

Приводной механизм состоит из электродвигателя 1, упругой и фрикционно-центробежной муфт, горизонтального и вертикального валов.

Барабан является основным рабочим органом сепаратора, в котором под действием центробежной силы происходит осветление суспензии.

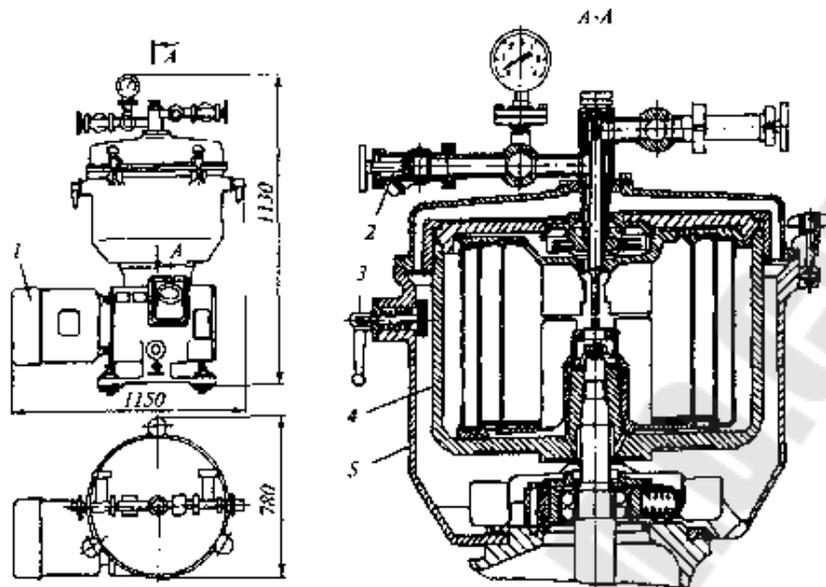


Рисунок 3.3 - Сепаратор-кларификатор ВСМ

Приемно-выводное устройство служит для подачи сепарируемого продукта в барабан и отвода осветленной жидкости из барабана.

Сепаратор-кларификатор ВСМ работает следующим образом. Для промывки, подогрева и проверки герметичности барабана в приемно-выводное устройство перед началом сепарирования через барабан пропускают воду, подогретую до температуры 40.. 60 °С. После этого по подводящему трубопроводу во вращающийся барабан подают продукт, подлежащий осветлению. Под действием центробежной силы взвешенные частицы отбрасываются к внутренним поверхностям вставок барабана и осаждаются на них. Осветленная жидкость под давлением выводится из барабана по отводящему трубопроводу.

**Вывод:** изучены теоретические основы процесса сепарирования; ознакомлены с классификацией сепараторов, их конструкциями и принципом работы; выполнен расчет сепаратора.

#### Порядок оформления отчета

Отчет по практической работе должен включать в себя:

- цель работы;
- теоретическую часть, в которой кратко излагаются основы процесса сепарирования молока и классификация сепараторов;
- расчетную часть, в которой приводится расчет сепаратора по предлагаемому варианту (табл. 3.1), описание конструкции и принципа действия сепаратора, указанного в индивидуальном задании;
- ответы на вопросы.

### 3.3 Исходные данные для расчета сепаратора

Таблица 3.1 – Варианты индивидуальных заданий

№ вар-та	$\omega, \text{с}^{-1}$	$R_6, \text{м}$	$R_M, \text{м}$	$R_d, \text{м}$	$V \cdot 10^{-3}, \text{м}^3$	$m_6, \text{м}$	$c, \text{м}$	$l, \text{м}$	$G, \text{кг}$	Марка сепаратора
1	500	0,18	0,060	0,075	4,8	81	0,30	0,57	109	Сепаратор-сливкоотделитель с пульсирующей выгрузкой осадка
2	510	0,18	0,060	0,075	4,9	82	0,30	0,58	108	
3	520	0,16	0,060	0,075	5,0	83	0,31	0,59	109	
4	530	0,16	0,070	0,075	5,0	84	0,34	0,60	110	
5	540	0,17	0,070	0,075	4,9	85	0,32	0,61	111	
6	550	0,17	0,070	0,075	4,8	86	0,33	0,61	112	
7	560	0,18	0,070	0,075	4,7	87	0,34	0,60	113	
8	570	0,17	0,060	0,075	4,8	86	0,31	0,59	114	
9	580	0,16	0,065	0,080	4,9	85	0,30	0,58	115	
10	590	0,18	0,065	0,080	5,0	84	0,30	0,58	114	
11	600	0,18	0,065	0,080	5,1	83	0,32	0,59	114	
12	610	0,20	0,065	0,080	5,2	82	0,33	0,60	113	
13	620	0,20	0,065	0,080	5,3	83	0,34	0,61	113	Сепаратор молоко-очиститель с пульсирующей выгрузкой осадка
14	630	0,20	0,065	0,080	5,2	84	0,34	0,62	112	
15	640	0,20	0,065	0,080	5,2	85	0,33	0,61	112	
16	650	0,18	0,065	0,080	5,3	86	0,32	0,60	111	
17	640	0,19	0,065	0,080	5,3	84	0,31	0,60	111	
18	630	0,19	0,075	0,085	5,2	86	0,32	0,60	110	
19	620	0,19	0,075	0,085	5,3	87	0,32	0,59	110	Сепаратор-кларификатор
20	630	0,17	0,075	0,085	5,4	85	0,33	0,59	109	
21	610	0,17	0,075	0,085	5,5	84	0,33	0,59	109	
22	610	0,19	0,075	0,085	5,6	83	0,34	0,58	108	
23	600	0,19	0,070	0,085	5,4	83	0,34	0,60	108	
24	590	0,20	0,070	0,085	5,3	81	0,35	0,61	109	
25	580	0,20	0,070	0,085	5,2	83	0,35	0,62	110	
26	620	0,18	0,065	0,090	5,3	83	0,30	0,59	114	
27	630	0,20	0,065	0,090	5,4	84	0,32	0,60	113	
28	640	0,20	0,075	0,095	5,5	85	0,33	0,61	113	
29	650	0,20	0,075	0,095	5,6	86	0,34	0,62	112	
30	660	0,23	0,080	0,090	5,3	82	0,36	0,64	116	

### 3.4 Контрольные вопросы:

1. В каких отраслях пищевой промышленности используются сепараторы?
2. Какова классификация сепараторов?
3. В чем заключается сущность процесса разделения и осветления?
4. Каковы основные конструктивные факторы, влияющие на эффективность процесса сепарирования?
5. За счет чего осуществляется отвод осадка, получаемого в процессе сепарирования?
6. Каково устройство и принцип работы сепаратора?

7. Что такое критическая частота вращения вертикального вала сепаратора?
8. Каковы конструктивные отличия сепаратора-сливкоотделителя от сепаратора-молокоочистителя?
9. Из каких составляющих складывается мощность привода сепаратора?

#### Практическая работа №4 Тема: **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 расчету плунжерных гомогенизаторов.

Задание: выполнить расчет гомогенизатора, если заданы:  $D$  - диаметр плунжера, м;  $S$  - ход плунжера, м;  $\omega$  - угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;  $z$  - число плунжеров, шт.;  $p$  - давление гомогенизации, Па.

#### **4.1 Теоретическая часть**

Гомогенизацией называется процесс измельчения жидких и пюре-образных пищевых продуктов за счет пропускания под большим давлением с высокой скоростью через узкие кольцевые щели. В результате воздействия на продукт различных гидродинамических факторов происходит дробление твердых частиц продуктов и их интенсивная механическая обработка.

Гомогенизация не только изменяет дисперсность белковых компонентов продукта, 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. По этому признаку выпускаемые гомогенизаторы можно подразделить на одно-, трех- и пятиплунжерные.

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

Гомогенизатор (рис. 4.1) включает в себя станину, корпус, привод, кривошипно-шатунный механизм, плунжерный блок, двух

ступенчатую гомогенизирующую головку, манометрическое устройство, предохранительный клапан системы смазки и охлаждения.

Внутри станины 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, в котором помещаются кривошипно-шатунный механизм, система охлаждения, фильтр системы смазки. Корпус выполнен в виде резервуара с наклонным дном для стекания масла. Уровень масла в нем должен находиться на такой высоте, чтобы кривошипно-шатунный механизм своей большой головкой мог доставать его при вращении коленчатого вала и разбрызгивать в направлении ползунной группы.

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

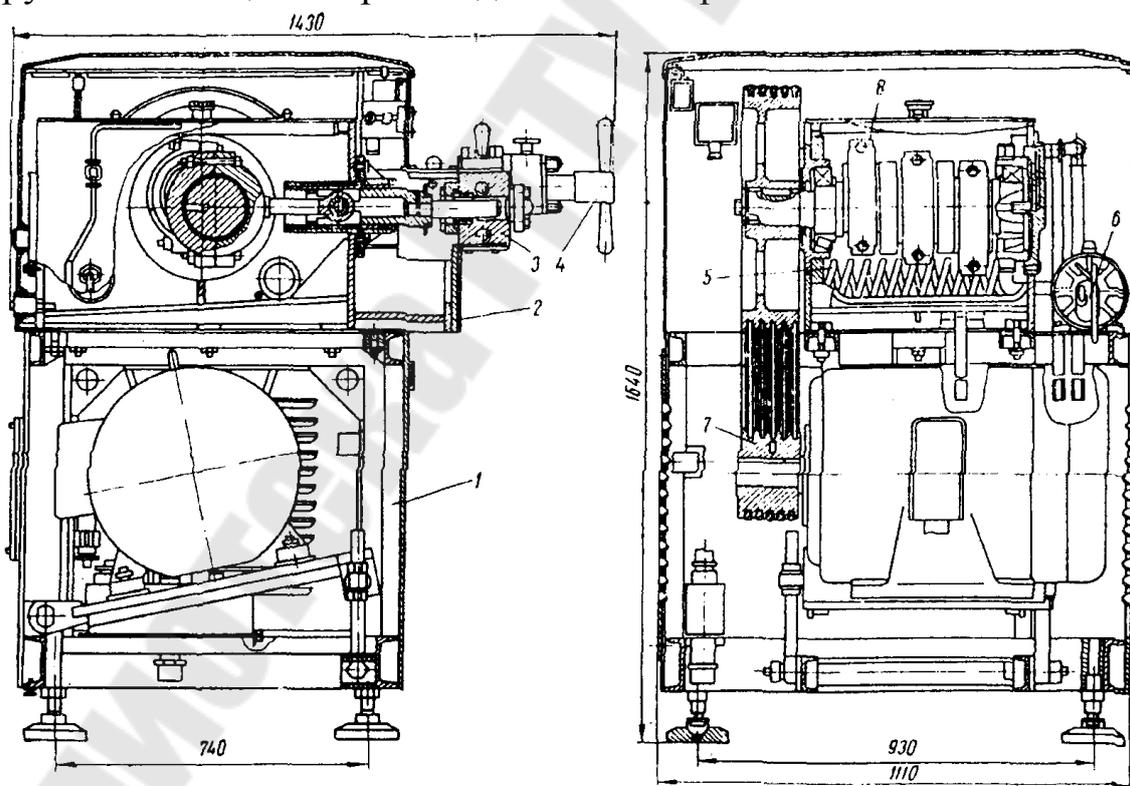


Рисунок 4.1 - Гомогенизатор: 1 - станина; 2 - корпус; 3 - плунжерный блок; 4 - гомогенизирующая головка; 5 - система охлаждения; 6 - система смазки; 7 - привод; 8 - кривошипно-шатунный механизм.

Система охлаждения 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.

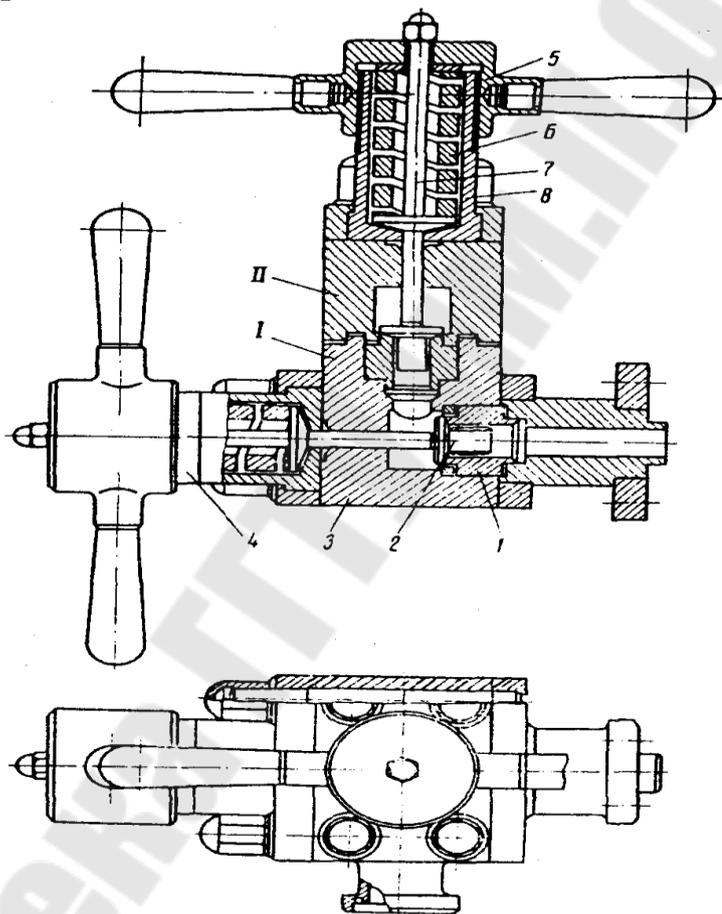


Рисунок 4.2 - Гомогенизирующая головка: I - первая ступень; II - вторая ступень; 1 - седло клапана; 2 - клапан; 3 - корпус; 4 - нажимное устройство; 5 - накидная гайка; 6 - пружина; 7 - шток; 8 - стакан.

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 се-

чением. 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 высотой, 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, в некоторых конструкциях - маслом под давлением, и может регулироваться. Она определяется давлением, с которым осуществляется подача продукта.

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

Двухступенчатая головка (рис. 4.2) состоит из корпуса 3 и клапанного устройства, основными частями которого являются седло клапана 1 и клапан 2. Клапан связан со штоком, на выступ которого давит пружина 6. Сила сжатия пружины регулируется путем перемещения накидной 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 от 0,05 до 2,50 мм проходит с большой скоростью жидкость, гомогенизируясь при этом.

#### 4.2 Расчетная часть

Производительность плунжерного гомогенизатора  $G$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G = 0,25 \cdot D^2 \cdot S \cdot \omega \cdot z \cdot \eta_H, \quad (4.1)$$

$$G = 0,25 \cdot 0,03^2 \cdot 0,06 \cdot 38,2 \cdot 3 \cdot 0,9 = 0,0014 \text{ м}^3 / \text{с}$$

где  $D$  и  $S$  - диаметр и ход плунжера, м;  $\omega$  - угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;  $z$  - число плунжеров, шт.;  $\eta_H$  - КПД насоса ( $\eta_H = 0,80 \dots 0,90$ ).

Мощность электродвигателя гомогенизатора  $N$ , кВт:

$$N = \frac{G \cdot p}{3600 \cdot \eta} = \frac{0,0014 \cdot 20,9 \cdot 10^6}{3600 \cdot 0,85} = 9,56 \text{ кВт}, \quad (4.2)$$

где  $p$  - давление гомогенизации, Па;  $\eta$  - КПД гомогенизатора ( $\eta = 0,75 \dots 0,85$ ).

Толщина тарелки клапана  $h_{\text{кл}}$ , м:

$$h_{\text{кл}} = 0,43 \cdot d_{\text{кл}} \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} = 0,43 \cdot 0,011 \cdot \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^6}{24 \cdot 10^7}} = 0,0014 \text{ м}, \quad (4.3)$$

где  $p$  - давление гомогенизации, Па;  $[\sigma] = 24 \cdot 10^7$  Па – допускаемое напряжение для материала клапана;  $d_{\text{кл}}$  - диаметр клапана, м:

$$d_{\text{кл}} = \sqrt{1,27 \cdot \left( \Delta F + \frac{G}{6 \cdot v_d \cdot z} \right)}, \quad (4.4)$$

$$d_{\text{кл}} = \sqrt{1,27 \cdot \left( 0,0000785 + \frac{0,0014}{6 \cdot 5 \cdot 3} \right)} = 0,011 \text{ м}$$

здесь  $G$  - производительность гомогенизатора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $v_d$  - допускаемая скорость жидкости в седле, м/с (для всасывающего клапана 2 м/с, а для нагнетательного 5...8 м/с);  $\Delta F$  - площадь сечения хвостовика,  $\text{м}^2$

$$\Delta F = \pi \cdot r_K^2 = \pi \cdot 0,005^2 = 0,0000785 \text{ м}^2, \quad (4.5)$$

здесь  $r_K$  - радиус хвостовика, м;  $r_K = (4 \dots 5) 10^{-3}$  м.

Пружину нагнетательного клапана рассчитывают, исходя из необходимого усилия  $P_{\text{пр}}$  при закрытом клапане:

$$P_{\text{пр}} = \frac{G \cdot \omega \cdot M \cdot (1 + \lambda)}{14 \cdot d_{\text{кл}}^2 \cdot z} = \frac{0,0014 \cdot 38,2 \cdot 0,4 \cdot (1 + 0,20)}{14 \cdot 0,011^2 \cdot 3} = 5,051 \text{ Н}, \quad (4.6)$$

где  $G$  - производительность гомогенизатора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\omega$  - угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;  $M$  - масса клапана, кг ( $M = 0,4$  кг);  $\lambda$  - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна ( $\lambda = 0,15 \dots 0,20$ );  $d_{\text{кл}}$  - диаметр клапана, м;  $z$  - число плунжеров, шт.

Сила сжатия пружины при рабочей деформации  $P_d$ , Н:

$$P_d = 1,5 \cdot P_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 5,051 = 7,577 \text{ Н}. \quad (4.7)$$

Жесткость пружины  $J$ , Н/м:

$$J = \frac{(P_d - P_{\text{пр}})}{h} = \frac{(7,577 - 5,051)}{0,12} = 21,05 \text{ Н/м}, \quad (4.8)$$

где  $h$  - высота пружины, м ( $h = 0,10 \dots 0,14$  м).

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

$$\Delta t = \frac{p}{c \cdot \rho} = \frac{20,9 \cdot 10^6}{3880 \cdot 1033} = 5,215 \text{ К}. \quad (4.9)$$

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

Средний диаметр жировых шариков, м, в диапазоне изменения давления от 2,0 до 20,0 МПа определяется по формуле Н.В. Барановского:

$$d_{cp} = \frac{3,8 \cdot 10^6}{\sqrt{p}} = \frac{3,8 \cdot 10^6}{\sqrt{20,9 \cdot 10^6}} = 831,209 \text{ м} \quad (4.10)$$

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, м, проходного сечения седла определяется по формуле:

$$D_c = \frac{\sqrt{G}}{\sqrt[4]{\frac{(p - p_B)}{\delta_B}}} = \frac{\sqrt{0,0014}}{\sqrt[4]{\frac{(20,9 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6)}{1,03}}} = 0,001 \text{ м}, \quad (4.11)$$

где  $p_B$  - давление всасывания, МПа ( $p_B = 0,2 \cdot 10^6$  МПа);  $\delta_B$  - отношение массы перекачиваемой жидкости к массе воды (для молока  $\delta_B = 1,03$ ).

#### **Физика процесса гомогенизации высокого давления.**

Целью гомогенизации является улучшение качества продуктов, их стабилизация, повышение выхода продукции.

Экстремальное уменьшение размеров частиц дисперсной фазы (до 1 мкм и менее) и одновременно тщательное перемешивание с непрерывной фазой приводят к достижению целого ряда существенных преимуществ получаемых продуктов:

- полное устранение или существенное замедление процесса разделения фаз;
- увеличение вязкости;
- увеличение скорости протекания реакций (за счет увеличения площади поверхностей частиц) и, как следствие, увеличение выхода

продукции;

- существенная экономия расхода эмульгаторов и стабилизаторов;
- улучшение сенсорного качества пищевых и косметических продуктов;

- все узлы и детали, контактирующие с продуктом, изготавливаются из материалов, разрешенных Министерством здравоохранения РФ.

Гомогенизаторы имеют гигиеническое заключение Минздрава РФ и сертификат соответствия Госстандарта России.

Основные преимущества наших гомогенизаторов:

- плавная регулировка давления от 0 до 20 МПа (200 бар);

- шариковые клапаны в гидроблоке насоса;

- низкая частота вращения коленвала насоса - пониженные шумы и вибрации;

- увеличенный срок службы уплотнений за счет развязки плунжеров.

Процесс гомогенизации высокого давления представляет собой операцию измельчения частиц в гетерогенных продуктах. При этом эмульсии (жидкость в жидкости) или суспензии (твердое вещество в жидкости) перекачиваются через узкий щелевой зазор под давлением от 0 до 20 МПа. В момент прохождения продукта через зазор резко возрастают скорость и турбулентность потока, частицы испытывают большие напряжения среза, и кроме того, из-за мгновенного падения давления ниже давления пара жидкости возникает эффект кавитации. Кавитация играет решающую роль в процессе измельчения частиц.



Рисунок 4.3 – Гомогенизатор «KEVAC».

**Вывод:** изучены теоретические основы процесса гомогенизации, ознакомлены с классификацией гомогенизаторов, изучено устройство и принцип действия плунжерного гомогенизатора и приобретены практические навыки по расчету плунжерных гомогенизаторов.

### 4.3 Исходные данные для расчета гомогенизатора

Таблица 4.1 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	D, мм	S, мм	$\omega$ , рад/с	z, шт	p, МПа	Чертеж гомогенизатора
1	25	10	36,1	5	25,5	К5-ОГА-10
2	35	20	38,1	3	20,3	
3	20	30	36,2	5	25,6	
4	30	40	38,2	3	19,8	
5	22	50	36,3	5	25,7	
6	32	60	38,3	3	19,9	
7	24	10	36,4	5	25,1	«KEVAC»
8	34	20	38,4	3	20,1	
9	21	30	36,5	5	25,4	
10	31	40	38,5	3	20,3	
11	23	50	36,6	5	25,9	A1-ОГМ
12	33	60	38,6	3	20,4	
13	25	10	36,7	5	25,8	
14	35	20	38,7	3	20,5	
15	26	30	36,8	5	26,3	
16	36	40	38,9	5	20,7	К5-ОГА-10
17	20	50	36,1	3	24,9	
18	30	60	38,1	5	20,9	
19	22	10	36,2	3	26,0	
20	32	20	38,2	5	20,4	
21	24	30	36,3	3	26,7	«KEVAC»
22	34	40	38,3	5	20,9	
23	26	50	36,4	3	22,6	
24	36	60	38,4	5	21,7	
25	21	10	36,5	3	26,3	
26	31	20	38,5	5	25,5	A1-ОГМ
27	23	30	36,6	3	20,3	
28	33	40	38,6	5	25,6	
29	25	50	36,7	3	19,8	
30	35	60	38,7	5	25,7	

### 4.4 Контрольные вопросы

1. Что называется гомогенизацией?
2. Назовите классификацию гомогенизаторов.
3. Какие виды гомогенизирующих головок используются в гомогенизаторах?

4. Как устроен и работает гомогенизатор?
5. Какие типы гомогенизаторов используются в промышленности?
6. От каких факторов зависит степень гомогенизации?
7. Как регулируется производительность гомогенизатора?

### Практическая работа № 5

#### Тема: **Расчет протирочной машины**

Цель работы: изучение теоретических основ процесса разделения методом протирания, знакомство с классификацией протирочных машин, их устройством и принципом действия, приобретение практических навыков по расчету протирочных машин.

Задание: выполнить расчет протирочной машины, если заданы: производительность машины  $Q$ , кг/с; вид перерабатываемого сырья; диаметр отверстий в сите  $d_c$ , мм; радиус бичей  $R$ , м; число бичей  $z$ , шт.; шаг отверстий каркаса  $a_{отв}$ , м; содержание мякоти в продукте  $\theta$ , %.

#### **5.1 Теоретическая часть**

Протирочные машины используются в производстве пюреобразных продуктов, соков, концентрированных томатопродуктов и других растительных полуфабрикатов. Они служат для разделения растительного сырья на две фракции: жидкую с мякотью, из которой изготавливаются консервированные продукты, и твердую, представляющую собой отходы (кожица, семена, косточки, плодоножки и т.п.).

*Протирание* - это процесс отделения массы плодовоовощного сырья от косточек, семян, кожуры путем продавливания на ситах через отверстия с диаметром 0,7...5,0 мм.

*Финиширование* - это дополнительное, более тонкое измельчение протертой массы путем пропускания через сито с диаметром отверстий менее 0,4 мм.

В процессе протирания или финиширования перерабатываемая масса попадает на поверхность движущегося бича. Под действием центробежной силы она прижимается к рабочему сити. Полуфабрикат через отверстия проходит в сборник, а отходы под действием силы, обусловленной углом опережения бичей, продвигается к выходу рабочего сита.

Протирочные машины классифицируются по следующим признакам: по числу барабанов - одинарные, сдвоенные и строенные; по принципу действия - бичевые и безбичевые; по форме барабанов - с

цилиндрическим или коническим барабаном; по назначению - для семечковых плодов, для косточковых плодов и универсальные; по способу регулирования производительности - с изменяющимся углом опережения бичей, изменяющимся зазором между бичами и барабаном, изменяющейся частотой вращения ротора (рис. 5.1).

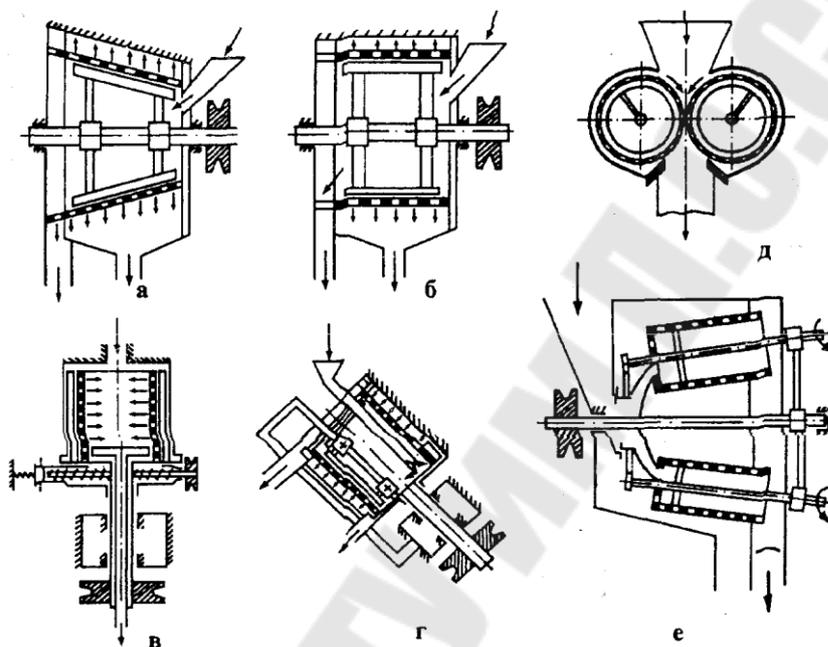


Рисунок 5.1 - Основные конструктивные схемы протирочных машин: а - с коническим ситчатым барабаном; б - с цилиндрическим ситчатым барабаном; в - с вращающимся вертикальным ситчатым барабаном при наружной подаче сырья; г - с наклонным вращающимся ситчатым барабаном и внутренней подачей сырья; д - двухбарабанная безбичевая протирочная машина; е - трехбарабанная безбичевая протирочная машина

Основными рабочими органами протирочных машин являются ситчатый барабан, бичевое устройство, устройства загрузки сырья на бичи и удаления отходов из барабана.

Протирочная машина (рис. 5.2), предназначенная для отделения косточек плодов (яблок, слив и т.д.) от мякоти, состоит из корпуса 2, станины 1, петельного вала 4, загрузочного бункера 5, сборника 7 и привода. Внутри корпуса машины на двух подшипниках скольжения вращается петельный вал с четырьмя рядами петель 6 и установлена сетка 3 с отверстиями диаметром 5 мм, укрепленная для жесткости в каркасе. Вал приводится во вращение от электродвигателя через редуктор.

Плоды поступают в машину через загрузочный бункер. Попад в полость, образуемую ситом, плоды разбиваются петельным валом и отбрасываются на сетку.

Жидкая фаза плодов и мякоть проходит сквозь сито в полость между ситом и корпусом, откуда стекают в сборник. Косточки продвигаются к выходному лотку и по нему сходят в тару.

Протирочные машины должны обеспечивать качественное разделение протираемой массы на полуфабрикат и отходы, высокую удельную производительность, минимальное количество отходов, низкий удельный расход энергии, однородный и достаточно тонкий дисперсный состав протертого полуфабриката, максимальную степень измельчения. К недостаткам протирочных машин следует отнести невысокую эксплуатационную надежность, обусловленную неравномерным износом и быстрым выходом из строя сеток; неравномерные нагрузки на ротор вследствие неодинакового зазора между бичом и сеткой цилиндра; низкую удельную протирочную способность.

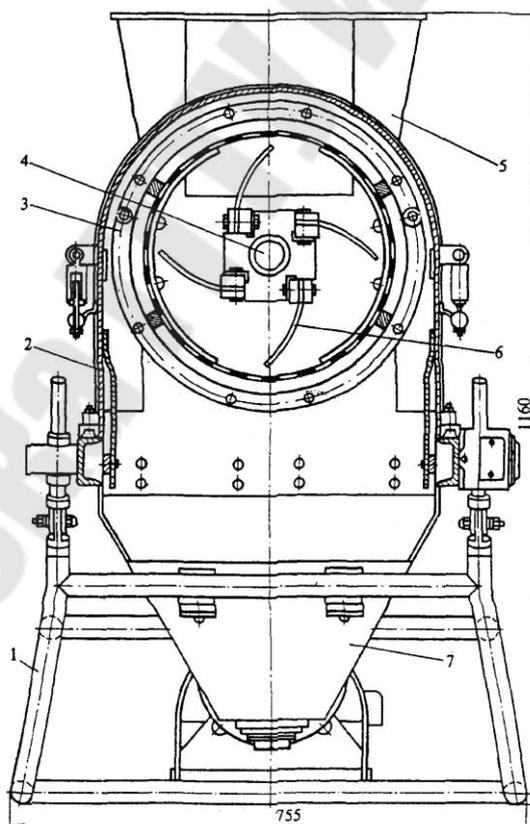


Рисунок 5.2 - Протирочная машина: 1 - станина; 2 - корпус; 3 - сетка; 4 - петельный вал; 5 – загрузочный бункер; 6 - петли; 7 – сборник в полость, образуемую ситом, плоды разбиваются петельным валом и отбрасываются на сетку

## 5.2 Расчетная часть

Диаметр трубопровода для подвода обрабатываемой массы в машину  $d_3$ , м

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot v_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,32}{\pi \cdot 1060 \cdot 1}} = 0,02 \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $Q$  - производительность машины, кг/с;  $\rho$  - плотность перерабатываемой массы, кг/м<sup>3</sup> (табл. 5.1);  $v_{\text{пр}}$  - скорость массы в загрузочной трубе машины, м/с (рекомендуется  $v_{\text{пр}} = 0,5 \dots 1,0$  м/с).

Угловая скорость вращения бичевого вала  $\omega$ , рад/с:

$$\omega = \sqrt{\frac{F_r \cdot g}{R}} = \sqrt{\frac{250 \cdot 9,81}{0,14}} = 132,355 \text{ рад/с}, \quad (5.2)$$

где  $F_r$  - фактор разделения ( $F_r = 200 \dots 300$ );  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> - ускорение свободного падения;  $R$  - радиус бичей, м.

Таблица 5.1 - Параметры перерабатываемого сырья

Продукт	Плотность перерабатываемой массы $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля мякоти в продукте $\Theta$ , %	Энергия, затрачиваемая на образование 1 м <sup>2</sup> поверхности, $W$ , Дж/м <sup>2</sup>
Яблоки	1070	25...40	15,0...18,5
Томаты	1090	20...30	8,0...12,0
Морковь	1130	27...46	19,8...22,4
Груши	1060	27...45	19,0...21,8
Сливы	1040	18...28	12,0...15,0
Виноград	1030	17...26	9,0...12,0

Живое сечение каркаса ситчатого барабана при круглых отверстиях в каркасе, м:

$$\varphi_{\text{б}} = \frac{d_{\text{отв}}^2}{a_{\text{отв}}^2} = \frac{(11 \cdot 10^{-3})^2}{0,014^2} = 0,617, \quad (5.3)$$

где  $d_{\text{отв}}$  - диаметр отверстий каркаса, м;  $d_{\text{отв}} = (8 \dots 12) \cdot 10^{-3}$  м;  $a_{\text{отв}}$  - шаг отверстий каркаса, м.

Живое сечение сит  $\varphi_{\text{с}}$  ориентировочно определяется в зависимости от диаметра отверстий в сите:

Таблица 5.2 - Параметры отверстий сит

Диаметр отверстий в сите, мм	0,4	0,8	1,2	2,8
Живое сечение $\varphi_{\text{с}}$ , мм	0,134	0,165	0,196	0,305

Безразмерная производительность  $q$ :

$$q = \frac{0,0905 \cdot Q}{\varphi_6 \cdot \varphi_c \cdot \rho \cdot R^2 \cdot \sqrt{R \cdot g}}, \quad (5.4)$$
$$q = \frac{0,0905 \cdot 0,32}{0,617 \cdot 0,165 \cdot 1060 \cdot 0,14^2 \cdot \sqrt{0,14 \cdot 9,81}} = 0,012$$

Длина зоны активного отделения жидкой фазы при протирании томатов  $l_1$ , м:

$$l_1 = R \cdot 30,4 \cdot q^{0,29} \cdot F_r^{-0,53} \cdot z^{0,31}, \quad (5.5)$$
$$l_1 = 0,14 \cdot 30,4 \cdot 0,012^{0,29} \cdot 250^{-0,53} \cdot 8^{0,31} = 0,121 \text{ м}$$

где  $z$  - число бичей, шт.

При протирании яблочной или другой перерабатываемой массы длину зоны активного отделения жидкой фазы увеличивают на 30 %.

Длина зоны центробежного отжима  $l_2$ , м:

$$l_2 = 0,11 \cdot R = 0,11 \cdot 0,14 = 0,015 \text{ м}, \quad (5.6)$$

Длина ситчатого барабана  $l$ , м:

$$l = l_1 + l_2 = 0,121 + 0,015 = 0,136 \text{ м}. \quad (5.7)$$

Продолжительность пребывания продукта в протирочной машине  $\tau$ , с

$$\tau = \frac{L}{v_1} = \frac{0,136}{3,242} = 0,042 \text{ с}, \quad (5.8)$$

где  $L$  - длина бича, м (в расчете принимается  $L = l$ );  $v_1$  - скорость перемещения продукта вдоль бича, м/с:

$$v_1 = 2 \cdot R \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 0,14 \cdot 132,355 \cdot \operatorname{tg} 5^\circ = 3,242 \text{ м/с}, \quad (5.9)$$

здесь  $R$  - радиус бичей, м;  $\omega$  - угловая скорость бичевого вала, рад/с;  $\alpha$  - угол опережения бича, град, ( $\alpha = 1,5 \dots 6,0^\circ$ ).

Мощность привода протирочной машины, Вт, складывается из следующих величин:

мощности, затрачиваемой на сообщение продукту скорости:

$$N_1 = 0,5 \cdot Q \cdot \omega^2 \cdot R^2 = 0,5 \cdot 0,32 \cdot 132,355^2 \cdot 0,14^2 = 54,936 \text{ кВт} \quad (5.10)$$

мощности, затрачиваемой на трение массы о сито:

$$N_2 = z \cdot m \cdot \omega^3 \cdot R^2 \cdot f, \quad (5.11)$$

$$N_2 = 8 \cdot 0,141 \cdot 132,355^3 \cdot 0,14^2 \cdot 0,8 = 41008,72 \text{ Вт}$$

где  $f$  - коэффициент трения массы о сито ( $f = 0,2 \dots 0,9$ );  $m$  - масса сырья вращающегося совместно с бичом, кг:

$$m = \gamma \cdot \rho \cdot l \cdot R^2 = 0,5 \cdot 1060 \cdot 0,136 \cdot 0,14^2 = 0,141 \text{ кг} \quad (5.12)$$

здесь  $\gamma$  - эмпирический коэффициент ( $\gamma = 0,05$ );  $l$  - длина барабана, м; мощности, затрачиваемой на измельчение сырья:

$$N_3 = Q \cdot W \cdot F_1 = 0,32 \cdot 21 \cdot 1,593 = 10,705 \text{ кВт}$$

где  $W$  - энергия, затрачиваемая на образование  $1 \text{ м}^2$  новой поверхности, Дж/м<sup>2</sup> (табл. 5.1);  $F_1$  - площадь вновь образованной поверхности при переработке 1 кг сырья, м<sup>2</sup>/кг:

$$F_1 = \left( \frac{2}{\rho \cdot d_2} - \frac{2}{\rho \cdot d_1} \right) \cdot \theta \cdot 10^{-2}, \quad (5.13)$$

$$F_1 = \left( \frac{2}{1060 \cdot (0,3 \cdot 0,0012)} - \frac{2}{1060 \cdot 0,0015} \right) \cdot 40 \cdot 10^{-2} = 1,593 \text{ м}^2 / \text{кг}$$

здесь  $d_1$  - средний размер частиц до обработки;  $d_1 = (1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $d_2$  - средний размер частиц после обработки (при обработке массы на сите с отверстиями диаметром  $d_c$  принимают  $d_2 = 0,3 d_c \text{ м}$ );  $\theta$  - массовая доля мякоти в продукте, % (см. табл. 5.1).

Общая мощность привода, Вт:

$$N = \frac{k \cdot (N_1 + N_2 + N_3)}{\eta_m}, \quad (5.14)$$

$$N = \frac{1,5 \cdot (54,936 + 41,00872 + 10,705)}{0,9} = 177,75 \text{ кВт.}$$

где  $k = 1,5$  - коэффициент запаса мощности;  $\eta_m$  - механический КПД привода ( $\eta_m = 0,85 \dots 0,90$ ).

### Протирочная машина Т1-КП2Т.

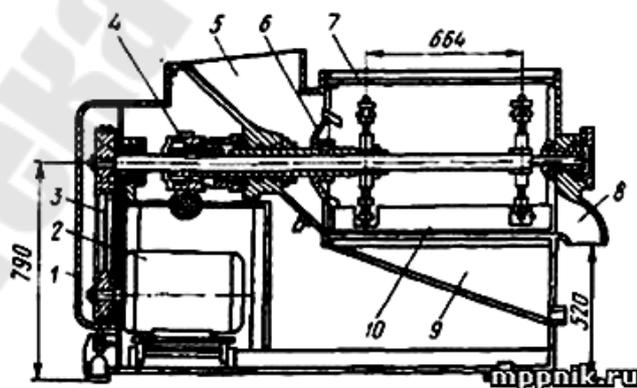


Рисунок 5.3 - Протирочная машина Т1-К.П2У:

1 - корпус; 2 - электродвигатель; 3 - клиноременная передача; 4- механизм регулировки угла опережения бичей; 5-загрузочный бункер; 6 - корпус-отражатель; 7 -сетчатый барабан; 8 - труба для вывода непротертой массы; 9 - сборный бункер; 10 - бич.

Привод ротора осуществляется от электродвигателя 2 через клиноременную передачу 3. Электродвигатель установлен на наклонной плите, положение которой можно регулировать.

Производительность машины по семечковым плодам 7000 кг/ч, по косточковым - 2000 кг/ч. Установленная мощность 7,5 кВт. Диаметры отверстий используемых сит: 1,5; 1,2; 0,7-0,8 мм при протира-нии овощей; 3 или 5 мм - при протирании косточкового сырья. Частота вращения ротора (в об/мин): при переработке семечковых плодов 700; косточковых 330, 410, 445. Пределы регулировки зазора между бичом и ситом 2,5 мм. Габариты 1770X770X1115 мм. Масса 508 кг.

Машины Т1-КП2Д и Т1-КП2Т предназначены для многократного протира-ния, так как однократное протира-ние не всегда позволяет получить продукт заданного качества. Они оснащены двумя и тремя барабанами.

Протирочная машина Т1-КП2Д используется для двукратного протира-ния томатов или фруктов, в том числе в линиях производства консервов детского питания. Она состоит из корпуса, привода, верхнего и нижнего ситчатых барабанов, верхнего и нижнего роторов, шахты.

Корпус имеет коробчатую форму. На его боковых стенках сде-ланы люки, которые служат для установки сит и мойки машины. Здесь же расположены отверстия для вывода продукта и крепления механизма регулировки зазора между бичом и ситом верхнего бара-бана. Продукт в машину загружается сверху.

Привод машины осуществляется от электродвигателя мощно-стью 5,5 кВт через две клиноременные передачи (от электродвигателя к нижнему валу и от нижнего вала к верхнему).

Ситчатые барабаны имеют по четыре ситчатых полуцилиндра, вставленных в кольца каркаса. Диаметр отверстий в ситах верхнего барабана 1,5 мм, в ситах нижнего - 0,7-0,8 мм.

Роторы - четырехбичевые. Механизм регулировки угла опере-жения бичей аналогичен описанному для протирочной машины Т1-КП2У. Пределы регулировки:  $\pm 1,5^\circ$  для первой ступени,  $0-3^\circ$  - для второй. Кроме угла опережения может изменяться в пределах от 1,5 до 4 мм зазор между бичом и ситом верхнего барабана. Диаметр сит-чатых барабанов составляет 300 мм, длина - 835 мм. Роторы враща-ются с частотой 790 об/мин, что обеспечивает создание большой цен-тробежной силы, необходимой для протира-ния.

Шахта расположена с торца машины и состоит из двух лотков для удаления отходов (семян, кожицы). Шахта крепится к корпусу с помощью петель.

Перед пуском в машину осматривают, проверяют наличие смазки в соответствующих точках, на отсутствие посторонних предметов и в легкости вращения ротора, проверяют натяжение ремней.

**Вывод:** изучили теоретические основы процесса разделения методом протирания, приобретены практические навыки по расчету протирочных машин.

### 5.3 Исходные данные для расчета

Таблица 5.3 - Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Производительность G, кг/с	Вид перерабатываемого сырья	Радиус бичей R, мм	Диаметр отверстий в ситед, рад/с	Число бичей, z	Шаг отверстий каркаса $a_{отв}$ , мм	Марка протирочной машины
1	0,30	яблоки	0,10	0,4	2	11	КПУ-М
2	0,31	томаты	0,11	0,9	2	11	
3	0,32	морковь	0,12	0,7	2	11	
4	0,33	груши	0,17	0,8	2	12	
5	0,34	сливы	0,15	0,6	6	10	
6	0,35	виноград	0,20	0,5	8	9	1ПЗ-1
7	0,40	яблоки	0,12	0,4	8	9	
8	0,41	томаты	0,13	0,6	8	13	
9	0,42	морковь	0,13	0,5	6	14	
10	0,43	груши	0,16	0,7	4	14	
11	0,44	сливы	0,12	0,5	2	13	АА9-КИТ
12	0,45	виноград	0,15	0,6	2	12	
13	0,36	яблоки	0,15	0,9	2	12	
14	0,37	томаты	0,18	0,6	2	9	
15	0,35	морковь	0,14	0,7	2	9	
16	0,39	груши	0,10	0,8	2	8	Т1-КП2У
17	0,40	сливы	0,16	0,7	4	12	
18	0,43	виноград	0,18	0,8	4	13	
19	0,41	яблоки	0,17	0,5	4	14	
20	0,34	томаты	0,16	0,6	4	14	
21	0,38	морковь	0,15	0,4	6	14	Т1-КП2т
22	0,32	груши	0,12	0,9	6	13	
23	0,30	сливы	0,11	0,6	6	13	
24	0,31	виноград	0,12	1,0	6	11	
25	0,33	яблоки	0,18	1,2	6	11	
26	0,49	томаты	0,16	1,1	8	11	1ПЗ-1
27	0,47	сливы	0,12	1,0	8	11	
28	0,40	морковь	0,10	1,2	8	11	
29	0,45	груши	0,15	1,1	8	12	
30	0,44	яблоки	0,14	1,2	10	12	

#### **5.4 Контрольные вопросы**

1. Какой процесс называется протирианием?
2. Как классифицируются протиричные машины?
3. В чем заключается отличие финишеров от протиричных машин?
4. Какие виды бичевых устройств известны?
5. Какие требования предъявляются к протиричным машинам?
6. Каково устройство и принцип действия протиричной машины?
7. Какие недостатки свойственны протиричным машинам?

#### **6 Список рекомендованной литературы**

1. Производственные технологии: учеб. пособие / Д.П. Лисовская и др. под общ. ред. Д.П. Лисовской. – Минск: Выш. шк., 2005. – 479 с.
2. Производственные технологии: учеб. для студ. вузов / Д.П. Лисовская и др. под общ. ред. Д.П. Лисовской. – Минск: Выш. шк., 2009. – 399 с.
3. Иванова, Л.А. Пищевая биотехнология: учеб. пособие. Кн.2: Переработка растительного сырья / Л.А. Иванова, Л.И. Войно, И.С. Иванова; под ред. И.М. Грачевой. – М.: КолосС, 2008. – 471 с.
4. Технология пищевых производств: учебник для студ. вузов / Л.П. Ковальская, И.С. Шуб, Г.М. Мелькина и др.; под ред. Л.П. Ковальской. – М.: Колос, 1999. – 752 с.
5. Технология переработки продукции растениеводства: учебник для студ. вузов / Н.М. Личко и др.; под ред. Н.М. Личко. – М.: Колос, 2008. – 615 с.
6. Васюкова, А.Т. Переработка рыбы и морепродуктов: учебное пособие / А.Т. Васюкова. – М.: Дашков и К, 2009. – 101 с.
7. Товароведение и экспертиза продовольственных товаров животного происхождения. Мясо и мясные товары. Рыба и рыбные товары: учебное пособие / Д.П. Лисовская [и др.]; под общ. ред. Д.П. Лисовской. – Минск: Выш. шк., 2006. – 464 с.
8. Переработка продукции растительного и животного происхождения / А.В. Богомоллов, Ф.В. Перцевой, О.Н. Сафонова [и др.]; под общ. ред. А.В. Богомоллова, Ф.В. Перцеваго. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2001. – 336 с.
9. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств / М.А. Березин, С.В. Истихин, В.В. Кузнецов. – Саранск: ООО «Мордовия-Экспо», 2009. – 64 с.

10. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. пособие / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.— М.: Высш.шк., 2001. - 680 с

11. Золотин Ю. П., Френклах М. Б., Лашутина Н. Г. Оборудование предприятий молочной промышленности. М.: Агропромиздат, 1985. - 270 с.

12. Голубев И.Г. и др. Машины и оборудование для переработки молока/ Каталог – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2006. - 348 с.

13. Краснокутский Ю. В., Панченко Ю. Б. Машины и оборудование для получения цельномолочной продукции. М.: Росагропромиздат, 1990. - 254 с.

14. Основы расчета и конструирование машин и аппаратов перерабатывающих производств: Учеб. пособие для вузов/ Курочкин А.А., Зимняков В.М. М.: КолосС, 2006. 320 с.

15. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства: Учеб. пособие для вузов/ Байкин С.В., Курочкин Л.А., Шабурова Г.В. М.: КолосС, 2007. - 445 с.

16. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; Под ред. А.В. Горбатова. М: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 296 с.

17. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов/ А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. М.: Пищевая промышленность, 1980. - 288 с.

18. Технологическое оборудование сахарных заводов: Учеб. для вузов/ Гребенюк С.М., Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н. и др. М.: Колос, 2007. - 520 с.

19. Кошевой Е.П. Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел. СПб.: ЗАО «ГИОРД», 2001. - 430 с.

20. Кретов И.Т., Остриков А.Н., Кравченко В.М. Технологическое оборудование предприятий пищевого концентратной промышленности. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1996. - 448 с.

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПЕРЕРАБОТКИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Практикум  
для студентов специальности 1-36 12 01  
«Проектирование и производство сельскохозяйственной  
техники» дневной и заочной форм обучения**

Составитель: **Астапенко Игорь Васильевич**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 19.12.16.

Рег. № 50Е.

<http://www.gstu.by>