

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

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ на тему  
**«Месильно-перемешивающее оборудование»**  
по дисциплине «Расчет и конструирование оборудования»  
*для студентов специальности*  
*1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»*



Брест 2021

УДК 664.002

Методические указания используются студентами специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств» для выполнения практических работ по дисциплине «Расчет и конструирование оборудования».

Приведены основы процессов замеса теста и перемешивание жидких пищевых продуктов, конструкции и принцип работы тестомесильной машины и лопастной мешалки. Рассмотрены методики определения конструктивных и технологических параметров данных машин.

В методических указаниях предусмотрено индивидуальное задание студентам и рекомендуемая литература.

Составитель: И. А. Мирошниченко, старший преподаватель

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5**

### **Тема: «РАСЧЕТ ТЕСТОМЕСИЛЬНОЙ МАШИНЫ»**

#### **Цель работы:**

- изучение теоретических основ процесса замеса теста;
- изучение классификации тестомесильных машин;
- изучение устройства и принципа работы тестомесильной машины;
- приобретение навыков по расчету тестомесильной машины.

## **1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **1.1 Режим замеса теста**

Режим замеса теста зависит от свойств муки, рецептуры, технологических особенностей ассортимента и конструкции тестомесильной машины.

При замесе происходит насыщение теста воздухом. При этом белки муки интенсивно поглощают влагу, их нерастворимые в воде фракции (глютенин и глиадин) образуют клейковину. При образовании клейковинного скелета теста возникают поперечные связи между смежными цепями белков. Эти связи упрочняют структуру теста и снижают его липкость.

Различают три стадии замеса теста:

I. Смешивание сухих и жидких компонентов теста должно проводиться как можно быстрее.

II. Замес сопровождается диффузией влаги мучнистых частиц, набуханием белков. Водорастворимые фракции муки переходят в раствор. При набухании большую часть влаги забирают белковые вещества: глютенин и глиадин, образуя гель.

На скорость замеса оказывают влияние свойства муки, степень измельчения крахмальных зерен, температура и рецептурные добавки. При поглощении влаги белки сильно увеличиваются в объеме, создавая клейковинный скелет. Замес требует значительных энергозатрат на привод тестомесильной машины вследствие возрастания усилия сдвига теста и может протекать при невысоких скоростях перемешивания.

III. Пластификация сопровождается структурными изменениями крахмальных зерен и образованием клейковинной решетки, смазывающей крахмальные зерна. При этом крахмальные зерна частично измельчаются и обволакиваются белковыми пленками. Спиралевидные молекулы полипептидов раскалываются и разрыхляют структуру белков, при этом возникают клейковинные пленки. Эти соединения образуются у полипептидов за счет водородных и гидрофобных связей. Пластификация требует усиленного механического воздействия, т. к. происходит разрушение молекул клейковины, а также выравнивание структуры теста и ее измельчение.

### **1.2 Классификация тестомесильных машин**

Для замеса теста применяют различные типы тестомесильных машин, которые оказывают различное механическое воздействие на тесто.

Тестомесильные машины классифицируют:

– *по структуре рабочего цикла*: машины периодического и непрерывного действия. Тестомесильные машины непрерывного действия обычно имеют стационарную месильную емкость и расположенные в ней вращающиеся или совершающие круговое движение месильные органы. Интенсивность замеса в них может быть повышена за счет применения тормозных лопастей или выступов на стенках месильной камеры;

– *по конструкции месильных емкостей*: машины периодического действия бывают со стационарными и сменными (подкатными) месильными емкостями (дежами), а дежи – неподвижные и вращающиеся;

– *по интенсивности воздействия рабочего органа на тесто*:

*обычные тихоходные* (процесс не сопровождается нагревом теста);

*быстроходные* (процесс сопровождается нагревом теста на 5...7 °С);

*супербыстроходные* (замес сопровождается нагревом теста на 10...20 °С и требуется специальное водяное охлаждение корпуса камеры);

– *по характеру движения месильного органа*: с круговым, вращательным, планетарным, сложным (плоским и пространственным) движением месильного органа;

– *по количеству камер*: однокамерные и двухкамерные;

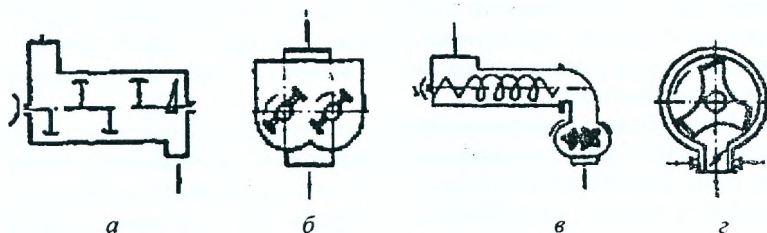
– *по конструкции*:

*однокамерные одновальные*, например, с горизонтальным валом и Т-образным месильным лопастями (рисунок 1а);

*однокамерные двухвальные*, например, с горизонтальными валами, на которых закреплены Т-образные месильные лопасти (рисунок 1б);

*двухкамерные двухвальные*, на валах которых закреплены винтообразные лопасти, образующие зоны смешивания и замеса, а зона пластификации оборудована двумя четырехугольными звездочками (рисунок 1в);

*роторные*, например, с трехлопастным ротором (рисунок 1г).



*а – однокамерные одновальные; б – однокамерные двухвальные;*

*в – двухкамерные двухвальные; г – роторные*

**Рисунок 1 – Схемы тестомесильных машин непрерывного действия**

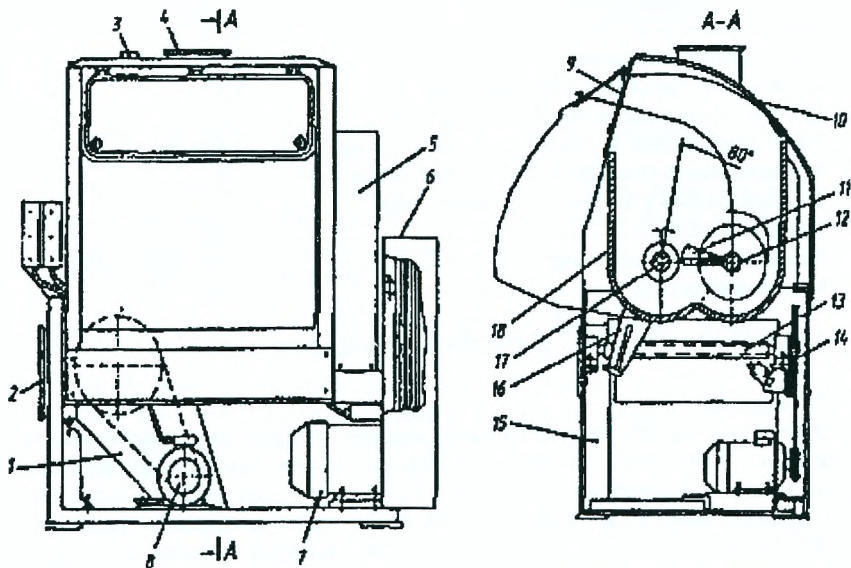
### 1.3 Устройство и принцип работы тестомесильной машины

Тестомесильная машина Т2-М63 (рисунок 2) со стационарной дежой применяется для замеса высоковязких полуфабрикатов (сухарного теста).

Машина состоит из металлической корытообразной емкости 18, которая закрыта стационарной крышкой 10.

Внутри емкости расположены два месильных лопастных органа 11, укрепленных на двух параллельных валах – переднем 17 и заднем 12, установленных в горизонтальной плоскости.

Месильные органы вращаются навстречу друг другу с частотой  $38 \text{ мин}^{-1}$  от электродвигателя 7 через клиноременную передачу и две пары косозубых зубчатых передач. Подача муки и жидких компонентов для замеса теста производится через горловину 4 и патрубков 3 при вращении месильных органов.



- 1 – ограждение; 2 – шкаф; 3 – патрубок; 4 – горловина; 5, 6 – ограждения;  
 7 – электродвигатель; 8 – реверсивный электродвигатель; 9 – откидная крышка;  
 10 – стационарная крышка; 11 – два месильных лопастных органа;  
 12 – задний вал; 13 – винт; 14 – конечные выключатели; 15 – станина;  
 16 – рычаг; 17 – передний вал; 18 – металлическая корытообразная емкость

**Рисунок 2 – Тестомесильная машина Т2-М63 со стационарной дежой**

Замес теста производится путем обработки компонентов между вращающимися лопастями и стенками емкости. По окончании замеса емкость поворачивается на угол  $80^\circ$  вокруг оси переднего вала и выходит из-под стационарной крышки 10. Одновременно открывается откидная крышка 9, и тесто выгружается через люк.

Поворот емкости для выгрузки теста осуществляется от реверсивного электродвигателя 8, который через клиноременную передачу вращает винт 13. Этот винт перемещает гайку, которая входит двумя штифтами в продольные пазы

рычага 16, укрепленного на днище емкости. В результате рычаг поворачивает емкость для выгрузки теста. Выключение электродвигателя в крайних положениях емкости осуществляется автоматически с помощью конечных выключателей 14.

Месильная емкость и все элементы машины смонтированы на станине 15. Электрооборудование смонтировано в шкафу 2. Элементы привода машины, представляющие опасность для обслуживающего персонала, закрыты ограждениями 1, 5 и 6.

#### 1.4 Техническая характеристика тестомесильной машины Т2-М63

Производительность, т/час.....	1
Вместимость дежи, м <sup>3</sup> .....	0,38
Число месильных валов.....	2
Количество сырья на один замес, кг.....	150
Длительность замеса одной порции, мин.....	10...15
Частота вращения месильных валов, с <sup>-1</sup> (мин <sup>-1</sup> ).....	0,63 (38)
Установленная мощность электродвигателя, кВт.....	5,5
Максимальный угол поворота дежи, град.....	85
Напряжение, В.....	380
Габаритные размеры, мм.....	1400×850×1550
Масса машины, кг.....	720

## 2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Задание

Выполнить расчет тестомесильной машины непрерывного действия, если заданы:  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$  – плотность теста;  $\tau_z$  – время, необходимое для замеса теста, мин;  $z$  – количество валов, шт.;  $D_n$  – наружный диаметр лопастей, м;  $d_v$  – диаметр вала, м;  $S$  – шаг лопастей, м;  $n$  – частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>;  $\eta$  – КПД привода;  $m$  – число лопастей, шт.;  $a$  – ширина лопатки, м;  $v$  – высота лопатки, м;  $\alpha=30^\circ$  – угол наклона лопасти к оси вращения, град;  $R$  – радиус вращения центра лопасти, м;  $B$  – ширина корыта, м;  $H$  – высота корыта, м.

### 2.2 Порядок выполнения расчета

Производительность тестомесильных машин непрерывного действия, кг/с

$$\Pi = z \cdot \frac{\pi \cdot (D_n^2 - d_v^2)}{240} S \cdot n \cdot \rho \cdot k_1 k_2 k_3, \quad (1)$$

где  $k_1 = 0,2 \dots 0,5$  – коэффициент подачи, зависящий от формы лопаток и их расположения на валу;

$k_2 = 0,15 \dots 0,20$  – отношение суммарной площади лопастей к винтовой поверхности того же диаметра и шага;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий площадь сечения (для одновальная машины  $z = 1$ ,  $k_3 = 1$ , для двухвальной машины  $z = 2$ ,  $k_3 = 0,55 \dots 0,70$ ).

Для тестомесильных машин непрерывного действия производительностью до 30 т/час можно принять:  $d_s = (0,04 \dots 0,05)$  м;  $S = (1,1 \dots 1,2) D_s$ .

Вместимость месильной камеры для машин непрерывного действия, м<sup>3</sup>

$$V_H = \frac{\Pi \cdot \tau_2}{\rho \cdot k_4}, \quad (2)$$

где  $k_4$  – коэффициент заполнения месильной камеры ( $k_4 = 0,6 \dots 0,7$ ).

Мощность, необходимая для вращения месильного органа при замесе теста в тестомесильных машинах непрерывного действия, кВт

$$N = \frac{|P_o v_o + P_p v_p|}{1000\eta} \cdot m, \quad (3)$$

где  $P_o$  и  $P_p$  – соответственно осевая и радиальная составляющая равнодействующей силы сопротивления, действующих на лопасть, Н;

$v_o$  и  $v_p$  – соответственно осевая и радиальная скорость движения точки приложения равнодействующей силы сопротивления, действующей на лопасть, м/с;  
 $m$  – число лопастей в тестомесильной машине, шт.;

$\eta = 0,83 \dots 0,92$  – КПД привода.

$$P_o = F \cdot \left[ R \cdot \rho \cdot tg^2 \cdot \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) \right] \cdot (\sin\alpha - \mu \cos\alpha), \quad (4)$$

где  $F = a \cdot b$  – площадь лопасти, погруженной в тесто, м<sup>2</sup>;

$c = 5000$  Па – удельное сопротивление теста с материалом лопасти;

$\gamma = 40^\circ$  – угол внутреннего трения теста;

$\mu = 0,9$  – коэффициент трения теста о лопасть.

$$P_p = F \cdot \left[ R \cdot \rho \cdot tg^2 \cdot \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) \right] \cdot (\cos\alpha - \mu \sin\alpha). \quad (5)$$

Осевая скорость движения точки приложения равнодействующей силы сопротивления, действующей на лопасть, м/с

$$v_o = v_p \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha. \quad (6)$$

Радиальная скорость движения точки приложения равнодействующей силы сопротивления, действующей на лопасть, м/с

$$v_p = \omega R. \quad (7)$$

Площадь поперечного сечения корыта м<sup>2</sup>

$$\Phi = \frac{\pi \cdot B^2}{8} + \left( \frac{H - B}{2} \right) \cdot B. \quad (8)$$

Длина корыта, м

$$L = \frac{V_H}{\Phi}. \quad (9)$$



### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о практической работе включает в себя:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются теоретические основы процесса замеса теста, классификация тестомесильных машин, устройство и принцип работы тестомесильной машины;
- расчетную часть, в которой проводятся расчеты тестомесительной машины по предлагаемому варианту (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	$\tau$ , мин	$z$ , шт.	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$m$ , шт.	$a$ , м	$a$ , м	$Dл$ , м	$B$ , м	$H$ , м
1	10	1	58	14	0,10	0,20	0,28	1,0	0,6
2	14	2	60	16	0,12	0,24	0,30	1,0	0,6
3	12	1	48	14	0,14	0,26	0,30	1,2	0,6
4	13	2	44	16	0,10	0,20	0,26	1,1	0,4
5	14	1	46	14	0,12	0,24	0,30	1,1	0,4
6	10	2	48	18	0,14	0,26	0,30	1,0	0,4
7	11	1	44	14	0,10	0,20	0,28	0,9	0,6
8	12	2	46	16	0,12	0,24	0,30	0,8	0,6
9	13	1	50	14	0,14	0,26	0,34	0,9	0,6
10	14	2	48	16	0,10	0,20	0,36	0,9	0,4
11	17	1	44	16	0,12	0,24	0,32	1,0	0,4
12	18	2	46	14	0,14	0,26	0,34	1,0	0,8
13	19	1	48	14	0,12	0,24	0,38	1,1	0,8
14	20	2	47	16	0,12	0,24	0,34	1,3	0,8
15	18	2	45	14	0,12	0,24	0,32	1,4	0,6
16	10	2	48	16	0,12	0,26	0,28	0,8	0,6
17	14	1	44	14	0,14	0,20	0,30	0,9	0,4
18	12	2	46	18	0,10	0,24	0,34	0,9	0,4
19	13	1	48	14	0,12	0,26	0,36	1,0	0,8
20	17	2	48	16	0,12	0,24	0,28	0,9	0,8

### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные стадии замеса теста. Их краткая характеристика.
2. Классификация тестомесильных машин.
3. От каких параметров зависит производительность тестомесильной машины непрерывного действия?
4. Какие факторы влияют на режим замеса теста?
5. Каковы основные составляющие мощности привода тестомесительных машин непрерывного действия?
6. Что влияет на продолжительность процесса замеса теста?
7. Привести схемы тестомесительных машин непрерывного действия.
8. Какой характер движения может совершать месильный орган в тестомесильных машинах?



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

### Тема: «РАСЧЕТ ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКИ»

#### **Цель работы:**

- изучение теоретических основ процесса перемешивания жидких пищевых продуктов;
- изучение классификации мешалок;
- изучение конструкции и принципа работы лопастной мешалки;
- приобретение навыков по расчету лопастной мешалки.

## 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### **1.1 Назначение и классификация перемешивающих устройств**

В различных отраслях пищевой промышленности возникает необходимость в перемешивании жидких продуктов:

- для смешивания двух или нескольких жидкостей;
- сохранения определенного технологического состояния эмульсий и суспензий;
- растворения или равномерного распределения твердых продуктов в жидкости;
- интенсификации тепловых процессов или химических реакций;
- получения или поддержания определенной консистенции и т. д.

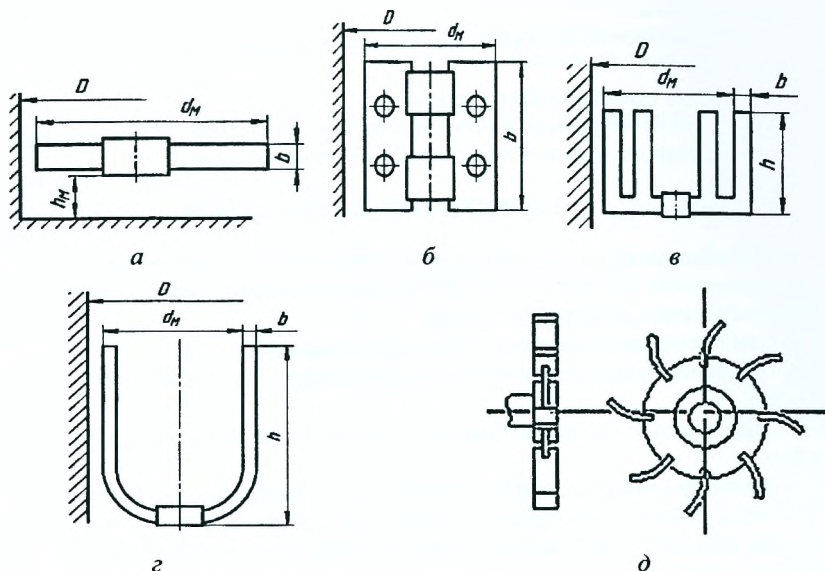
Для перемешивания жидких пищевых продуктов наибольшее распространение получили механические перемешивающие устройства, включающие в себя рабочий орган, т.е. мешалку с валом и ее привод.

Перемешивающие аппараты классифицируются:

- *по назначению*: для смешивания, растворения, темперирования и т. д.;
- *по расположению аппарата*: вертикальные, горизонтальные, наклонные, специальные;
- *по характеру обработки рабочей среды*: смешивание одновременно во всем объеме, в части объема и пленочное смешивание;
- *по характеру движения жидкости в аппарате*: радиальное, осевое, тангенциальное и смешанное;
- *по принципу действия*: механические, пневматические, эжекторные, циркуляционные и специальные;
- *по отношению к тепловым процессам*: со стеночной поверхностью теплообмена, с погружной поверхностью теплообмена и без использования тепловых процессов;
- *по конструкции*: лопастные (рисунок 1а); листовые (рисунок 1б); рамные (рисунок 1в); якорные (рисунок 1г); турбинные открытого (рисунок 1д) и закрытого (рисунок 2) типов.

Основным преимуществом листовых и лопастных мешалок является их простота и дешевизна. Недостатки данных мешалок – незначительное осевое перемещение жидкости и возможности их применения только для жидкостей с коэффициентом динамической вязкости  $\mu$  до 1 Па·с.

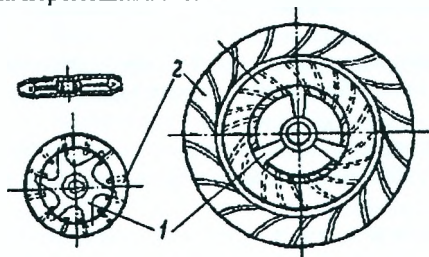
Листовые мешалки целесообразно применять для процессов теплообмена и растворения. Отверстия в лопастях листовых мешалок обеспечивают образование дополнительных вихрей, что повышает интенсивность перемешивания.



*a – лопастные; б – листовые; в – рамные; г – якорные; д – турбинные открытого типа*  
**Рисунок 1 – Типы механических перемешивающих устройств**

Якорные мешалки имеют сложные по форме лопасти, отлитые из чугуна или изготовленные из полимерных материалов. Применяют для перемешивания пищевых продуктов с коэффициентом динамической вязкости  $\mu$  до 10 Па·с.

Основным преимуществом рамных мешалок является большая механическая прочность, позволяющая применять их для перемешивания весьма вязких жидкостей. Недостаток этих мешалок – относительно большой расход энергии на перемешивание.



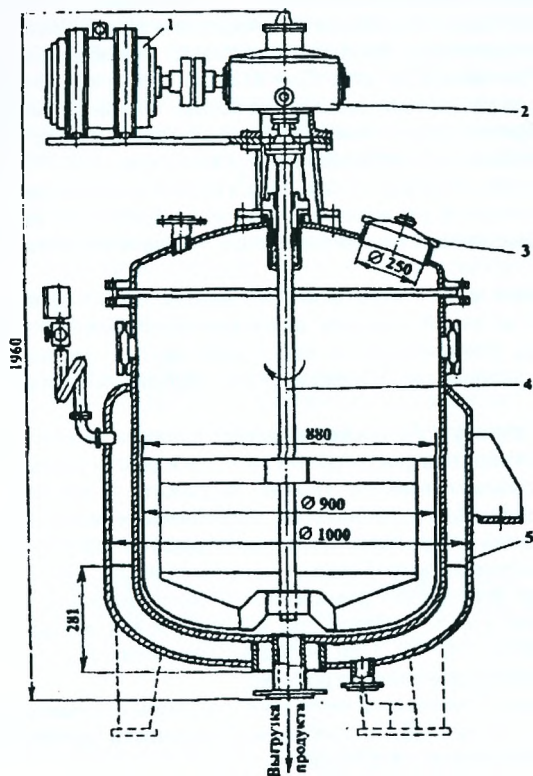
*1 – турбина; 2 – корпус*  
**Рисунок 2 – Турбинные мешалки закрытого типа**

Турбинные мешалки применяются для смешивания жидкостей с  $\mu$  до 800 Па·с. В пищевой промышленности турбинные мешалки применяются для приготовления

смесей, растворов, гидрогенизации жиров, а также в качестве эмульсаторов и смесителей при приготовлении пастообразных продуктов.

## 1.2 Конструкция и техническая характеристика лопастной мешалки

Рассмотрим конструкцию механического перемешивающего аппарата МЗС-316 (рисунок 3).



Перемешивание продукта осуществляется мешалкой, состоящей из вертикального вала с укрепленными на нем лопастями. В нижней части корпуса имеются два патрубка для спуска конденсата и выгрузки готового продукта.

1 – электродвигатель;  
2 – редуктор; 3 – крышка;  
4 – мешалка; 5 – корпус  
Рисунок 3 – Лопастная мешалка МЗС-316

### Техническая характеристика лопастной мешалки МЗС-316

Рабочая емкость, л.....	500
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> .....	2,2
Рабочее давление, МПа:	
в паровой камере .....	0,3
в корпусе.....	0,07
Частота вращения мешалки, мин <sup>-1</sup> .....	70
Установленная мощность электродвигателя, кВт .....	1,7
Габаритные размеры, мм .....	1300×1240×1960
Масса машины, кг .....	740

## 2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Общая методика расчета механических перемешивающих устройств

Расчет перемешивающего устройства начинается с определения скорости потока в аппарате, которая обуславливается частотой вращения перемешивающего устройства. Поэтому с увеличением частоты вращения увеличивается интенсивность большинства технологических процессов, но только до определенных значений; при больших частотах может произойти ухудшение эффекта перемешивания.

При гомогенизации легкоподвижных сред интенсивность перемешивания примерно пропорциональна величине  $(\Gamma_D)^2$ , (где  $\Gamma_D = D/d_M$ ,  $D$  – наружный диаметр аппарата;  $d_M$  – диаметр перемешивающего устройства). Таким образом, в некоторых случаях целесообразно использовать аппараты с меньшим  $\Gamma_D$ , т. е. с относительно большим диаметром перемешивающего устройства.

При перемешивании в больших объемах (более  $25 \text{ м}^3$ ) относительное увеличение диаметра вызовет значительное увеличение мощности. Поэтому в таких аппаратах целесообразно устанавливать перемешивающее устройство с высоким значением  $\Gamma_D$ .

Для ориентировочной оценки можно принимать мощность, прямо пропорциональную ширине лопасти и пятой степени диаметра перемешивающего устройства. При взмучивании, взвешивании и некоторых других процессах применяют перемешивающее устройство с относительно малым расстоянием от днища –  $h_M$  (рисунок 1а).

Высота уровня жидкости в аппарате  $H_0$  также оказывает влияние на ход технологического процесса. Например, при растворении газа в жидкости скорость процесса возрастает с увеличением высоты уровня жидкости в аппарате. При возрастании высоты уровня  $H_0$  увеличивается потребляемая мощность. Для лопастных перемешивающих устройств увеличение высоты от ( $H_0=D$ ) до ( $H_0=1,5 \cdot D$ ) приводит к возрастанию потребляемой мощности на 20...40 %.

Для большинства процессов достижение равномерного перемешивания при минимальных расходах энергии обеспечивается при высоте уровня жидкости в аппаратах, равной его диаметру ( $H_0=D$ ). При больших значениях  $H_0$ , могут применяться многорядные перемешивающие устройства.

В системах газ-жидкость при установке на валу двух турбинных перемешивающих устройств происходит увеличение потребляемой мощности примерно в 1,7 раза, при установке трех устройств – в 2,2 раза.

В процессах завешивания твердых частиц и эмульгирования при использовании двух лопастных или двух пропеллерных перемешивающих устройств расход мощности возрастает в 1,5 раза. При использовании многорядных лопастных перемешивающих устройств для получения равномерной взвеси рекомендуется расстояние между ними (вдоль оси вала) принимать равным ( $0,5 d_M$ ). Для турбинных перемешивающих устройств это расстояние может быть принято равным ( $1 \dots 1,5$ )  $d_M$ .

На поля скоростей в аппаратах с перемешивающими устройствами оказывают заметное влияние конструктивные особенности аппарата. Это находит свое отражение в величине мощности, потребляемой перемешивающими устройствами. Наличие внутренних устройств (гильз термометров, труб передавливания и др.) увеличивает потребляемую мощность на 10...20 %. Установка змеевика в ряде

случаев приводит к двукратному увеличению расхода мощности. Однако при этом коэффициент теплоотдачи в два раза выше, чем в аппаратах с рубашкой.

Особенно сильно влияет на величину мощности, потребляемой перемешивающими устройствами, наличие отражательных перегородок у аппарата. Для лопастных и турбинных устройств на некоторых режимах потребляемая мощность в 3...7 раз больше, чем в аппаратах без перегородок. Основное назначение отражательных перегородок – устранение образования воронки в жидкости. Для ряда технологических процессов наличие перегородок приводит также к некоторому повышению интенсивности процесса (эмульгирование, взвешивание, растворение газов в жидкости и др.). Следует отметить, что устранение воронки может быть достигнуто применением наклонного вала, а также использованием аппаратов прямоугольного сечения.

## 2.2 Задание

Выполнить расчет лопастной мешалки, если заданы:  $V$  – объем жидкости,  $\text{м}^3$ ;  $D_{\text{ан}}$  – диаметр аппарата,  $\text{м}$ ;  $R_n$  и  $r_n$  – соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти,  $\text{м}$  (рис. 4);  $z$  – число лопастей на валу, шт.;  $h_n$  – высота лопасти,  $\text{м}$ .

## 2.3 Порядок выполнения расчета

Уровень жидкости в спокойном состоянии,  $\text{м}$

$$h = \frac{V}{\pi R_{\text{ан}}^2}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем жидкости,  $\text{м}^3$ ;

$R_{\text{ан}}$  – радиус аппарата,  $\text{м}$  ( $R_{\text{ан}} = D_{\text{ан}}/2$ ).

Предельная угловая скорость вращения лопасти  $\omega_{\text{н.в.}}$ , при которой жидкость в емкости размерами  $R_{\text{ан}}$  и  $H$ , налитая до уровня  $h$ , не выплеснулась через край емкости (условие невыплескивания жидкости из аппарата),  $\text{с}^{-1}$

$$\omega_{\text{н.в.}} = \frac{2}{R_{\text{ан}}} \sqrt{g(H' - h)}, \quad (2)$$

где  $H'$  – высота аппарата, предварительно принимаем  $H' = D$ .

Предельная угловая скорость вращения лопасти  $\omega_o$ ,  $\text{рад/с}$ , при которой будет выполнено условие необнажения дна аппарата),  $\text{с}^{-1}$

$$\omega_o = \frac{2}{R_{\text{ан}}} \sqrt{h}. \quad (3)$$

Определив  $\omega_{\text{н.в.}}$  и  $\omega_o$ , выбираем  $\omega_{\text{раб}}$ ,  $\text{с}^{-1}$ .

Максимальная высота жидкости в аппарате  $h_{\text{max}}$ ,  $\text{м}$  (рисунок 4):

$$h_{\text{max}} = h + \frac{\omega_{\text{раб}}^2 R_{\text{ан}}^2}{4g}. \quad (4)$$

Тогда высота аппарата,  $\text{м}$

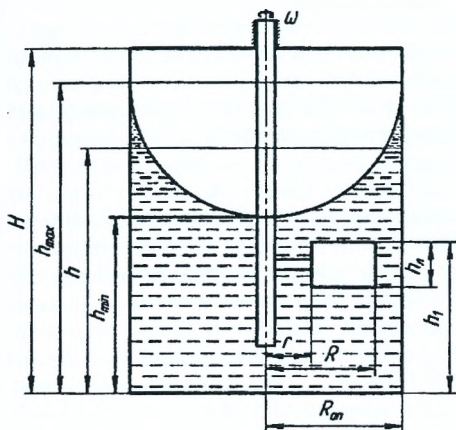
$$H = h_{\text{max}} + K, \quad (5)$$



где  $K$  – некоторый запас высоты, м (принимается  $K = 0,5 \dots 1,2$  м).

Минимальная высота жидкости в аппарате, при которой процесс будет протекать нормально, м:

$$h_{min} = h - \frac{\omega_{раб}^2 R_{ап}^2}{4g} \quad (6)$$



Для того чтобы верхний край лопасти не оказался выше уровня воронки вращающейся жидкости, нижний уровень  $h_{min}$  воронки в центре должен быть выше плоскости верхнего края лопасти  $h_l$  (рисунки 4)

$$h_{min} > h_l.$$

Рисунок 4 – Схема к расчету скорости вращения лопастной мешалки

Крутящий момент на валу лопасти, Н·м

$$M = \frac{c\rho h_l \omega_{раб}}{4} (R_l^4 - r_l^4), \quad (7)$$

где  $c = 20 \dots 180$  – коэффициент сопротивления, величина которого зависит от скорости и вязкости жидкости (принять  $c = 50$ );

$\rho$  – плотность перемешиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$h_l$  – высота лопатки, м;

$R_l$  и  $r_l$  – соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти, м.

Мощность, потребная на вращение лопасти, Вт

$$N = M\omega_{раб}. \quad (8)$$

Следует учесть, что найденная по формуле (8) мощность необходима только на вращение одной лопасти. Для того, чтобы определить мощность привода вала лопастной мешалки, следует учесть общий КПД привода  $\eta_{пр}$ , количество лопастей  $z$  и принять некоторый запас мощности.

Поэтому мощность электродвигателя привода вала лопастной мешалки, Вт

$$N_э = \frac{N \cdot z \cdot k_э}{\eta_{пр}} \quad (9)$$

где  $z$  – количество лопастей на валу, шт.;

$\eta_{пр}$  – общий КПД привода ( $\eta_{пр} = 0,82 \dots 0,94$ );

$k_3$  – коэффициент запаса мощности ( $k_3 = 1,5 \dots 1,8$ ).

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о практической работе включает в себя:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются назначение и классификация перемешивающих устройств и теоретические основы процесса перемешивания жидких пищевых продуктов;
- расчетную часть, в которой проводится расчет лопастной мешалки по предлагаемому варианту (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	$V$ , м <sup>3</sup>	$D_{оп}$ , м	$R_л$ , м	$r_л$ , м	$z$ , шт.	$h_л$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	0,50	0,90	0,44	0,40	2	0,45	1100
2	0,54	0,91	0,45	0,41	3	0,46	1120
3	0,58	0,92	0,45	0,40	4	0,47	1140
4	0,60	0,93	0,46	0,42	6	0,48	1160
5	0,62	0,94	0,46	0,41	2	0,49	1180
6	0,66	0,95	0,46	0,40	3	0,50	1200
7	0,68	0,96	0,47	0,43	4	0,51	1220
8	0,70	0,97	0,47	0,42	6	0,52	1230
9	0,73	0,98	0,43	0,43	2	0,53	1240
10	0,75	0,99	0,48	0,44	3	0,45	1250
11	0,77	1,00	0,49	0,44	4	0,46	1260
12	0,80	1,01	0,49	0,45	6	0,47	1270
13	0,60	1,02	0,50	0,44	2	0,48	1280
14	0,62	1,03	0,50	0,45	3	0,49	1290
15	0,66	1,04	0,51	0,46	4	0,50	1300
16	0,68	1,05	0,51	0,45	6	0,51	1310
17	0,70	1,06	0,52	0,47	2	0,51	1320
18	0,73	1,07	0,52	0,48	3	0,53	1330
19	0,75	1,08	0,53	0,47	4	0,50	1340
20	0,80	1,09	0,53	0,48	2	0,51	1350

### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью используются мешалки?
2. Устройство и принцип действия лопастной мешалки?
3. Классификация перемешивающих машин?
4. От каких параметров зависит производительность лопастных мешалок?
5. Какие факторы влияют на режим перемешивания продукта?
6. Как размеры и форма лопастей влияют на мощность привода лопастных мешалок?
7. Из каких соображений выбирается рабочая частота вращения лопастного вала?



Учебное издание

*Составитель:*

*Мирошниченко Игорь Александрович*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ на тему  
**«Месильно-перемешивающее оборудование»**  
по дисциплине «Расчет и конструирование оборудования»  
*для студентов специальности*  
*1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»*

Ответственный за выпуск: Мирошниченко И. А.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.

Корректор: Дударук С. А.

---

Подписано в печать 28.12.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. л. 1,0. Заказ № 1474. Тираж 18 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.