

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**ФГБОУ ВПО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

---

**КАФЕДРА МАШИН И АППАРАТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

---

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И  
ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Программа, методические указания  
и задания к контрольным работам**

**Для студентов, обучающихся по направлению  
151000 – «Технологические машины и оборудование»,  
профиля 151000.62 «Машины и аппараты пищевых  
производств» заочной формы обучения**

**ВОРОНЕЖ  
2013**

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Технологическое оборудование механических и гидромеханических процессов» является одной из профессиональных дисциплин направления подготовки бакалавров по направлению 151000 - «Технологические машины и оборудование» профиля 151000.62 «Машины и аппараты пищевых производств» Федерального государственного образовательного стандарта.

### ***Целью изучения дисциплины является:***

- подготовка студентов к производственно-технической, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности в области машин и аппаратов пищевой промышленности, научить студентов сочетать фундаментальную подготовку по общетехническим и инженерным дисциплинам с конкретными знаниями в области технологического оборудования отраслей промышленности, повышением эффективности работы технологического оборудования и освоения прогрессивных методов его эксплуатации.

### ***Задачи дисциплины:***

- изучение конструкции и принципа действия технологического оборудования пищевой промышленности;

- изучение классификационных принципов и принципиальных схем основных типов технологического оборудования производственных линий с учетом современных отечественных и зарубежных технологических и технических разработок;

- освоение методов расчета основных параметров оборудования;

- изучение оптимальных и рациональных технологических режимов оборудования, особенностей эксплуатации технологического оборудования, допустимых нагрузок, техники безопасности и требований охраны окружающей среды;

- овладение прогрессивными методами эксплуатации технологического оборудования.

- изучение перспективных направлений технических решений задач развития и совершенствования основного технологического оборудования предприятий пищевой промышленности;

В результате изучения дисциплины «Технологическое оборудование механических и гидромеханических процессов» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего и профессионального образования подготовки

бакалавров по направлению 151000-«Технологические машины и оборудование» профиля 151000.62 «Машины и аппараты пищевых производств» студенты должны **знать**:

- конструкцию и принцип действия технологического оборудования отрасли, технические характеристики и экономические показатели;

- технологию производственных процессов пищевой промышленности;

- оптимальные и рациональные технологические режимы работы оборудования отрасли и его функциональное назначение;

- алгоритмы и методы расчетов и проектирования машин и аппаратов пищевой промышленности;

- методы оценки эффективности работы технологического оборудования, исследования технологических процессов, проектирования и проведения расчетов;

- прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при производстве готовой продукции, основные направления развития и совершенствования оборудования отраслей пищевой промышленности;

**уметь**:

- решать вопросы эффективной эксплуатации, управления и ремонта технологического оборудования предприятий пищевой промышленности;

- выбирать современное экономически выгодное оборудование, отвечающее особенностям производства;

- выполнять основные инженерные расчеты, конструировать, проектировать и составлять техническую документацию оборудования соответствующей отрасли промышленности;

- предлагать инженерные решения по созданию технологий на основе интенсификации производственных процессов и новых физических методов обработки пищевого сырья;

**владеть**:

- методами оценки технического состояния технологического оборудования;

- методами контроля технологических режимов работы оборудования отрасли;

- контролем эффективности работы оборудования;

- методами безопасной эксплуатации оборудования отрасли.

Задачи контрольных работ охватывают основные разделы курса и способствуют усвоению студентами теоретического материала.

## **Программа дисциплины**

### **Тема 1. Оборудование для мойки сельскохозяйственного сырья**

Научное обеспечение процесса мойки сельскохозяйственного сырья. Классификация оборудования. Машины для мойки зерна. Машины для мойки сахарной свеклы. Машины для мойки плодов и овощей. Машины для мойки туш животных. Перспективные направления технических решений технологических задач.

### **Тема 2. Оборудование для очистки и сепарирования сыпучего сельскохозяйственного сырья**

Научное обеспечение процессов очистки и сепарирования сыпучего сельскохозяйственного сырья. Классификация оборудования. Скальператоры и камнеотделительные машины. Воздушно-ситовые сепараторы и просеиватели. Триеры. Падди-машины. Воздушные сепараторы. Магнитные сепараторы. Перспективные направления технических решений технологических задач.

### **Тема 3. Оборудование для инспекции, калибрования и сортирования штучного сельскохозяйственного сырья**

Научное обеспечение процессов инспекции, калибрования и сортирования штучного сельскохозяйственного сырья. Классификация оборудования. Оборудование для инспекции пищевого растительного сырья. Калибровочные машины. Машины для сортирования пищевого сырья. Перспективные направления технических решений технологических задач.

### **Тема 4. Оборудование для разборки растительного и животного сырья**

Научное обеспечение процесса разборки растительного и животного сырья. Классификация оборудования. Обочные и щеточные машины. Машины для шелушения и шлифования зерновых культур. Бичерушки. Гребнеотделители. Машины для очистки картофеля и корнеплодов. Машины для отделения шелухи и плодоножек. Протирочные машины. Установки для снятия шкур с животных. Установки для снятия оперения с птицы. Установки для снятия чешуи с рыбы. Машины для разделки птицы. Машины для разделки

рыбы. Перспективные направления технических решений технологических задач.

#### **Тема 5. Оборудование для измельчения пищевых сред**

Научное обеспечения процесса измельчения пищевых сред. Классификация оборудования. Вальцовые станки. Дробилки. Мельницы. Плющильные машины. Резательные машины. Свеклорезки. Мясорубки, волчки и куттеры. Гомогенизаторы. Перспективные направления технических решений технологических задач.

#### **Тема 6. Оборудование для сортирования и обогащения сыпучих продуктов измельчения пищевых сред**

Научное обеспечение процессов сортирования и обогащения сыпучих продуктов измельчения пищевых сред. Классификация оборудования. Рассева. Ситовеечные машины. Вымольные машины и виброцентрофугалы. Энтолейторы и деташеры. Дробильно-сортировочные машины. Перспективные направления технических решений технологических задач.

#### **Тема 7. Оборудование для разделения жидкообразных неоднородных пищевых сред (суспензий и эмульсий)**

Научное обеспечение процесса разделения жидкообразных неоднородных пищевых сред. Классификация оборудования. Отстойники, центрифуги и сепараторы. Фильтры и фильтрующие устройства. Мембранные модули и аппараты. Прессы. Перспективные направления технических решений технологических задач.

#### **Тема 8. Оборудование для смешивания пищевых сред**

Научное обеспечение процесса смешивания сыпучих, жидких, вязких компонентов пищевых сред. Классификация оборудования. Мешалки для жидких пищевых сред. Месильные машины для высковязких пищевых сред. Машины и аппараты для образования пенообразных масс. Смесители для сыпучих пищевых сред. Перспективные направления технических решений технологических задач.

#### **Тема 9. Оборудование для формования пищевых сред**

Научное обеспечение процесса формования пищевых сред. Использование для формования полуфабрикатов методов экструзии, штампования, прессования. Классификация оборудования. Отливочные машины. Штампующие машины. Машины для формования пластичных масс выпрессовыванием. Машины для формования в оболочке. Отсадочные машины. Раскаточные и калибрующие ма-

шины. Округлительные, закаточные и обкаточные машины. Машины для нарезания заготовок и изделий. Машины для формования сыпучих материалов. Перспективные направления технических решений технологических задач.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ**

Изучение курса предусматривает выполнение в двух семестрах по одной контрольной работе с текстом, формулами, рисунками и таблицами.

Контрольные работы с формулами и расчетами выполняются в отдельной тетради. Контрольная работа должна быть выполнена аккуратно, разборчиво написана четким почерком, ручкой одного цвета, без редактирования, с необходимыми пояснениями формул и соответствующими расшифровками величин. Ответы в контрольной работе должны быть полными, конкретными.

Разрешается приводить ксерокопии поясняющих схем. Текстовая часть контрольной работы может быть выполнена в рукописном или печатном вариантах (работа оформляется по требованиям ЕСКД на листах формата А-4 с титульным листом). На титульном листе обязательно указываются автор, номер работы и шифр зачетной книжки студента.

Контрольная работа оформляется самостоятельно, грамотно, иллюстрируется таблицами, графиками, схемами, чертежами, которые должны быть выполнены четко, вручную или в графических редакторах. При копировании иллюстраций из учебников, графики, схемы и чертежи должны легко читаться и быть разборчивыми.

Каждая контрольная работа состоит из одного контрольного вопроса теоретической части и одной контрольной задачи, которые выполняются по варианту, соответствующему цифрам учебного шифра студента.

Студент выбирает для решения задачи контрольной работы вариант, соответствующий последним цифрам шифра зачетной книжки (номер задания соответствует последней цифре, вариант – предпоследней цифре); а задание на теоретический контрольный вопрос – на основе предпоследней цифры шифра зачетной книжки. Работа, выполненная не по своему варианту, не зачитывается.

Без указания шифра работа не рецензируется. Ответы на кон-

контрольные вопросы должны быть изложены по возможности кратко. Решение контрольной задачи должно иллюстрироваться схемами, сопровождаться расшифровкой и указанием единиц измерения каждой величины и ссылками на литературные источники. Результаты расчета представляются в величинах и единицах измерения СИ.

В конце работы представляется библиографический список с точным указанием выходных данных печатного издания, адресом электронного ресурса. Студент обязательно подписывает контрольную работу и ставит дату выполнения. Для замечаний рецензента должны быть предусмотрены поля.

Студент должен ориентироваться в изложенном материале и ответить на все вопросы преподавателя по теме контрольной работы, должен уметь решить и пояснить любую из задач.

Для допуска к зачету по курсу студентам необходимо представить преподавателю зачетную контрольную работу и оформленные отчеты по лабораторным работам.

В результате изучения дисциплины «Технологическое оборудование механических и гидромеханических процессов» студент должен знать технологию пищевых производств и перспективы технического развития предприятий, системы и методы проектирования технологических процессов и режимов работы технологического оборудования пищевых производств, устройство и принцип действия оборудования предприятий пищевых производств, технические характеристики его и экономические показатели, методы оценки технического уровня пищевой техники и машинных технологий, технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, готовой продукции, топливу, энергии и нормативы их расхода, методы исследований, проектирования и проведения экспериментальных работ.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

### ЗАДАНИЕ № 1. РАСЧЕТ ВЫМОЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Задача :** выполнить расчет вымольной машины, если заданы:  $n_{дв}$  - частота вращения ротора электродвигателя, мин<sup>-1</sup>;  $d_{ш}$  и  $D_{ш}$  - соответственно, диаметры ведущего и ведомого шкивов ременной передачи, м;  $\rho$  - насыпная плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  - угол наклона оси гонок, расположенных на бичах ротора, град;  $R$  - радиус ротора, м;  $h$  - наибольшая высота слоя продукта в роторе, м;  $f_0$  - живое сечение поверхности сита ;  $a$  - длина отверстия в сите, м;  $L$  - длина сита, м;  $G_p$  - масса ротора, кг ;  $d_b$  - диаметр цапфы вала, м.

**Цель работы:** знакомство с конструкциями и принципом работы; определить производительность; рассчитать скорость движения продукта через сито и мощность привода вымольной машины.

#### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

На рис. 1 представлен эскиз вымольной машина.

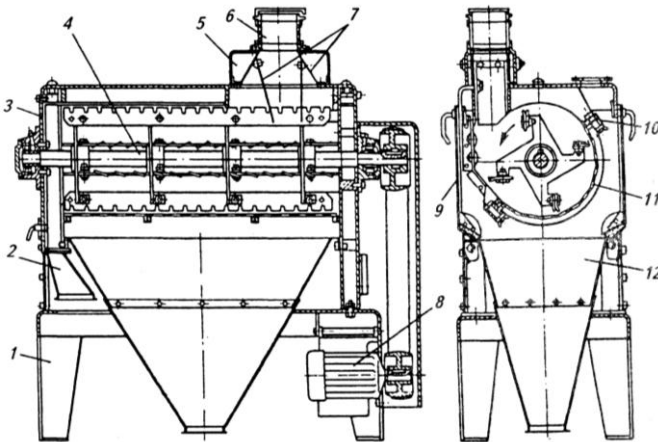


Рис. 1. Эскиз вымольной машина:

1 – подставка; 2– выпускной патрубков; 3 – станина; 4– бичевой ротор; 5– приемная камера; 6– приемный патрубок; 7– спаренные клапаны; 8– привод; 9 – дверка; 10– зажим; 11– ситовой полуцилиндр; 12– конус



*Определение производительности.*

Производительность вымольной машины  $\Pi$ , кг/с, с вращающимся бичевым ротором определяется по формуле

$$\Pi = 0,5 F f_0 v_0 \rho E \frac{a}{R} \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.1)$$

где  $F$  – площадь поверхности просеивающегося сита, м<sup>2</sup>;  $f_0$  – живое сечение поверхности сита;  $v_0$  – скорость движения продукта через сито, м/с;  $\rho$  – насыпная плотность зерновой фракции, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho=550\dots600$  кг/м<sup>3</sup>);  $E$  – коэффициент использования площади сита ( $E=0,25\dots0,4$ );  $a$  – длина отверстия в сите (по дуге окружности), м;  $R$  – радиус ротора, м;  $\alpha$  – угол наклона оси гонок, расположенных на бичах ротора, град.

Площадь поверхности цилиндрического сита,  $F$ , м<sup>2</sup>,

$$F = 2\pi RL, \quad (1.2)$$

где  $L$  – длина сита, м.

Живое сечение поверхности сита  $f_0$ ,

$$f_0 = \frac{abz}{AB}, \quad (1.3)$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина отверстий в сите, м;  $z$  – количество отверстий на участке сита;  $A$  и  $B$  – длина и ширина участка сита, м.

*Расчет скорости движения продукта через сито.*

Скорость движения продукта через сито  $v_0$ , м/с определяется по зависимости

$$v_0 = \omega RK_{\text{пр}}, \quad (1.4)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>;  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент проскальзывания зерновой массы ( $K_{\text{пр}}=0,7\dots0,8$ ).

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (1.5)$$

где  $n$  – частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>.

$$n = n_{\text{дв}} \frac{d_{\text{ш}}}{D_{\text{ш}}} (1 - \varepsilon), \quad (1.6)$$

где  $n_{\text{дв}}$  – частота вращения ротора электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $d_{\text{ш}}$  и  $D_{\text{ш}}$  – диаметры ведущего и ведомого шкивов ременной передачи, м;  $\varepsilon$  – коэффициент проскальзывания ременной передачи ( $\varepsilon \approx 0,03$ ).

*Расчет мощности привода вымольной машины.*

Мощность привода вымольной машины  $N$ , кВт,

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{1000}, \quad (1.7)$$

где  $N_1$  – мощность, затрачиваемая на разгон зерновой фракции, Вт;  $N_2$  – мощность, затрачиваемая на преодоление трения зерновой фракции о поверхность сита, Вт;  $N_3$  – мощность на преодоление трения в подшипниковых опорах, Вт.

Мощность, затрачиваемая на разгон зерновой фракции  $N_1$ , Вт;

$$N_1 = \Pi \omega^2 R^2. \quad (1.8)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения зерновой фракции о поверхность сита  $N_2$ , Вт

$$N_2 = f \Pi \tau \omega^3 R^2, \quad (1.9)$$

где  $f$  – коэффициент трения зерновой фракции по поверхности металлического сита ( $f=0,25$ );  $\tau$  – время нахождения зерновой фракции в машине, с.

Мощность на преодоление трения в подшипниковых опорах  $N_3$ , Вт,

$$N_3 = 0,5 G_p \mu g \omega d_{\text{в}}, \quad (1.10)$$

где  $G_p$  – масса ротора, кг;  $\mu$  – коэффициент трения качения в подшипниках опор ( $\mu=0,05 \dots 0,08$ );  $d_{\text{в}}$  – диаметр цапфы вала, м.

Мощность электродвигателя привода вымольной машины  $N_3$ , кВт,

$$N_3 = K_3 \frac{N}{\eta}, \quad (1.11)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса мощности ( $K_3=1,5$ );  $\eta$  – КПД ременной передачи ( $\eta=0,97$ ).

Т а б л и ц а 1.1  
Варианты индивидуальных заданий

Исходная величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр ведущего шкива ременной передачи $d_{ш}$ , м	0,09	0,10	0,112	0,125	0,14	0,16	0,18	0,20	0,224	0,25
Диаметр ведомого шкива ременной передачи $D_{ш}$ , м	0,18	0,20	0,224	0,250	0,28	0,30	0,355	0,40	0,45	0,50
Частота вращения ротора электродвигателя $n_{дв}$ , мин <sup>-1</sup>	730	950	1440	2900	1450	720	900	2950	735	970
Насыпная плотность продукта $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	500	490	520	540	530	500	480	550	600	590
Угол наклона оси гонок на бичах ротора $\alpha$ , град	10	9	11	8	12	10	9	8	11	10
Радиус ротора $R$ , м	0,2	0,23	0,215	0,22	0,235	0,21	0,23	0,2	0,20	0,23
Наибольшая высота слоя продукта в роторе $h$ , м	0,045	0,055	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,055	0,045	0,06
Живое сечение поверхности сита $f_0$	0,49	0,5	0,53	0,55	0,52	0,51	0,53	0,54	0,55	0,5
Длина отверстия в сите $a$ , м	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
Длина сита $L$ , м	0,6	0,7	0,75	0,65	0,9	0,8	0,85	0,6	0,65	0,7
Масса ротора, кг $G_p$ , кг	45	43	44	49	47	45	48	46	44	49
Диаметр цапфы вала $d_v$ , м	0,045	0,050	0,055	0,040	0,050	0,060	0,055	0,065	0,045	0,055

## ЗАДАНИЕ № 2. РАСЧЕТ ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКИ

**Задача** : выполнить расчет лопастной мешалки, если заданы:  $V$  - объем жидкости,  $\text{м}^3$ ;  $D_{an}$  - диаметр аппарата,  $\text{м}$ ;  $R_l$  и  $r_l$  - соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти,  $\text{м}$ ;  $z$  - число лопастей на валу, шт.;  $h_l$  - высота лопасти,  $\text{м}$ .

**Цель работы**: изучение теоретических основ процесса перемешивания жидких пищевых продуктов; знакомство с классификацией мешалок, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета лопастной мешалки.

### Рекомендации для выполнения расчетной части Методика расчета

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

$$h = V / \pi R_{an}^2, \quad (2.1)$$

где  $V$  - объем жидкости,  $\text{м}^3$ ;  $R_{an}$  - радиус аппарата,  $\text{м}$  ( $R_{an} = D_{an}/2$ ).

Предельная угловая скорость вращения лопасти  $\omega_{н.в}$ ,  $\text{рад/с}$ , при которой жидкость в емкости размерами  $R_{an}$  и  $H$ ,  $\text{м}$ , налитая до уровня  $h$ , не выплеснулась через край емкости (условие невыплескивания жидкости из аппарата) будет равна

$$\omega_{н.в} < \frac{2}{R_{an}} \sqrt{g(H-h)}, \quad (2.2)$$

Предельная угловая скорость вращения лопасти  $\omega_{н.л}$ ,  $\text{рад/с}$ , которую она может иметь для того, чтобы ее верхний край не оказался выше уровня перемешиваемой жидкости (условие необнажения лопасти мешалки),

$$\omega_{н.л} < \frac{2}{R_{an}} \sqrt{g(H-h)}, \quad (2.3)$$

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

$$\omega_o = \frac{2}{R_{an}} \sqrt{h}. \quad (2.4)$$

Зная  $\omega_{н.в}$ ,  $\omega_{н.л}$  и  $\omega_o$ , выбираем  $\omega_{раб}$ ,  $\text{рад/с}$ .

Максимальная высота жидкости в аппарате  $h_{max}$ ,  $\text{м}$  (рис. 2.19)

$$h_{max} = h + \frac{\omega_{paб}^2 R_{an}^2}{4g} . \quad (2.5)$$

Тогда высота аппарата  $H$ , м,

$$H = h_{max} + K , \quad (2.6)$$

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

Минимальная высота жидкости в аппарате  $h_{min}$ , м, при которой процесс будет протекать нормально, равна

$$h_{min} = h - \frac{\omega_{paб}^2 R_{an}^2}{4g} . \quad (2.7)$$

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  $h_1$  (рис. 2.19) [8]

$$h_{min} > h_1 , \quad (2.8)$$

Крутящий момент на валу лопасти  $M$ , Н·м,

$$M = \frac{c\rho h_l \omega_{paб}}{4} (R_l^4 - r_l^4) , \quad (2.9)$$

где  $c$  - коэффициент сопротивления, величина которого зависит от формы и скорости тела, вязкости жидкости и т. п. ( $c = 20...180$ );  $\rho$  - плотность перемешиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup> (в расчетах принимается  $\rho = 1100...1350$  кг/м<sup>3</sup>);  $h_l$  - высота лопасти, м;  $R_l$  и  $r_l$  - соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти, м (рис. 2.19) [8].

Мощность потребная на вращение лопасти  $N$ , кВт,

$$N = M\omega_{paб} . \quad (2.10)$$

Следует учесть, что найденная по формуле (2.10) мощность необходима только на вращение одной лопасти. Для того чтобы определить мощность привода вала лопастной мешалки, следует учесть общий КПД привода  $\eta_{np}$ , количество лопастей  $z$  и принять некоторый запас мощности. Поэтому мощность электродвигателя привода вала лопастной мешалки  $N_э$ , кВт, равна

$$N_э = N \cdot z \cdot k_з / \eta_{np} , \quad (2.11)$$

где  $z$  - количество лопастей на валу, шт.;  $\eta_{np}$  - общий КПД привода ( $\eta_{np} = 0,82...0,94$ );  $k_з$  - коэффициент запаса мощности ( $k_з = 1,5...1,8$ ).

Т а б л и ц а 2.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер вари- анта	$V,$ $\text{м}^3$	$D_{an},$ $\text{м}$	$R_{л},$ $\text{м}$	$r_{л},$ $\text{м}$	$z,$ шт.	$h_{л},$ $\text{м}$	Марка аппарата
1	0,50	0,90	0,44	0,40	2	0,45	МЗС-241 [16, с. 238]
2	0,54	0,91	0,45	0,41	3	0,46	
3	0,58	0,92	0,45	0,40	4	0,47	
4	0,62	0,94	0,46	0,42	6	0,49	
5	0,66	0,95	0,46	0,40	3	0,50	МЗС-320 [16, с. 241]
6	0,92	1,14	0,56	0,51	4	0,55	
7	0,73	0,98	0,48	0,43	2	0,53	
8	0,77	1,14	0,49	0,45	4	0,46	ВНИИКОП-2 [37, с. 148]
9	0,80	1,01	0,49	0,46	6	0,47	
10	0,75	1,08	0,53	0,47	3	0,53	

### ЗАДАНИЕ № 3. РАСЧЕТ МАКАРОННОГО ПРЕССА

**Задача:**  $S$  - шаг шнека, м;  $l$  - длина шнека дозатора муки, м;  $\tau$  - продолжительность замеса теста, ч;  $Q'_n$  - производительность макаронного пресса по готовым изделиям, кг/ч;  $n_m$  - частота вращения месильного органа, мин<sup>-1</sup>;  $n_{ш}$  - максимальная частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;  $p$  - давление прессования, МПа;  $W_m$  - начальная влажность макаронного теста, %;  $n_o$  - число формирующих отверстий в матрице, шт.; вид макаронного изделия.

**Цель работы:** изучение теоретических основ процесса прессования макаронных изделий; ознакомление с классификацией макаронных прессов, их конструкциями и принципом работы; приобретение практических навыков расчета макаронного пресса.

#### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

Количество воды, потребное для замеса макаронного теста, зависит от количества и качества клейковины и влажности муки. Влажность теста в зависимости от вида изделий должна быть в пределах 28,0...32,5 % (табл. 3.1).

На структурно-механические и реологические свойства теста огромное влияние оказывает температура, значительно определяя ход и результат прессования сырых изделий.

Т а б л и ц а 3.1

Начальная влажность теста для различных макаронных изделий

Вид изделий	Влажность, %
Макаронны подвесной сушки	31,0...32,5
Макаронны диаметром 6 мм и более (кассетная сушка), рожки и фигурные изделия.	30,0...30,5
Макаронны диаметром менее 6 мм (кассетная сушка)	30,0...31,5
Вермишель и лапша прессовая	30,0...31,5
Лапша резная	28,5...29,0
Ракушки	31,5...32,0

Температура теста зависит не только от температуры его компонентов, но и изменяется при его приготовлении в тестомесителе и в шнековой камере, где механическая энергия работы рабочих органов тестомесителя и пресса почти целиком переходит в тепловую энергию, за счет которой тесто дополнительно прогревается. Кроме того, шнековая камера может иметь греющие или охлаждающие устройства, также корректирующие температуру теста. Поэтому в настоящее время в тестомесителях шнекового типа чаще всего используют два типа замесов: холодный и теплый (табл. 3.2).

Т а б л и ц а 3.2

Основные характеристики замесов макаронного теста

Условия замеса и формирования теста	Холодный замес	Теплый замес
Температура воды, идущей на замес, °С	18...28	58...70
Температура теста в конце замеса, °С	30...31	38...40
Консистенция теста в конце замеса	Крошкообразная	Мелко комковатая
Заполнение тестомесителя по объему	1/2 с понижением к питающему отверстию	3/4 с понижением к питающему отверстию
Температура сырых изделий после прессования, °С	42...46	45...50
Влажность теста, %	28,6...29,6	28,2...29,5

Установлено, что качество готовых изделий, полученных при теплом замесе, значительно лучше. Следовательно, температура теста к моменту окончания вымешивания в смесителе зависит от температуры муки и воды, соотношения муки и воды в тесте (на 100 кг муки в среднем 23 кг воды), влажности муки, теплоты гидратации муки и т. д.

Для расчета температуры воды  $t_w$ , °С, по заданной температуре теста, температуры макаронного теста  $t_m$ , °С, и необходимой



температуры муки  $t_m$ , °С, по заданной температуре воды и теста пользуются формулами (3.1) - (3.3) и соответствующими данными (табл. 2.3).

Расход муки на 1 т готовых изделий и количество воды, необходимое для получения теста, требуемой влажности, определяются по формулам (3.4), (3.5).

В тестомесителе макаронного прессы готовится весьма неоднородная масса, крошковато-рыхлая по структуре, непригодная для непосредственного прессования.

$$t_{\epsilon} = \frac{Tt_1c_1 - Mt_m c_m - \Gamma M}{B}, \quad (3.1)$$

$$t_m = \frac{Mt_m c_m + Bt_{\epsilon} + \Gamma M}{Tc_m}, \quad (3.2)$$

$$t_m = \frac{Tt_m c_m - Bt_{\epsilon} - \Gamma M}{Mc_m}, \quad (3.3)$$

где  $T$  - масса полученного теста, кг;  $c_m$  - удельная теплоемкость теста, кДж/(кг·К);  $M$  - масса муки на замес теста, кг;  $c_m$  - удельная теплоемкость муки, кДж/(кг·К);  $\Gamma$  - теплота гидратации 1 кг муки, израсходованной на замес теста, кДж/(кг·К);  $B$  - масса воды на замес теста, кг.

$$M = 1000 \frac{100 - W_u}{100 - W_m} + M_n, \quad (3.4)$$

$$B = \frac{M(W_m - W_m)}{100 - W_m}, \quad (3.5)$$

где  $W_u$ ,  $W_m$ ,  $W_m$  - соответственно влажность готовых изделий, муки, теста, %;  $M_n$  - механические потери муки, кг/т,  $M_n = (0,36...0,60)$ .

Т а б л и ц а 3.3

Теплофизические характеристики муки и макаронного теста

Влажность, %	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/(кг·К)		Теплота гидратации $\Gamma$ , кДж/(кг·К)
	муки	макаронного теста	

10,0	-	-	16,70
10,5	-	-	14,60
11,0	1,93	-	12,90
11,5	1,95	-	11,70
12,0	1,96	-	9,04
12,5	1,97	-	8,79
13,0	1,98	-	7,53
13,5	2,00	-	6,27
14,0	2,01	-	5,44
14,5	2,02	-	4,60
14,0	2,03	-	3,76
15,5	2,05	-	2,93
28,0	-	2,36	-
28,5	-	2,37	-
29,0	-	2,40	-
29,5	-	2,40	-
20,0	-	2,41	-
30,5	-	2,42	-
31,0	-	2,44	-
31,5	-	2,45	-
32,0	-	2,46	-
32,5	-	2,47	-

*Расчет дозирующего устройства.* Производительность шнекового дозатора муки  $Q_m$ , кг/ч [19],

$$Q_m = \frac{60\pi(D^2 - d^2)}{4} S \cdot n \cdot \rho_m \cdot \varphi, \quad (3.6)$$

где  $D$  - наружный диаметр спирали шнека, м ( $D = 0,18...0,20$  м);  $d$  - диаметр вала шнека, м ( $d = D/2$ );  $S$  - шаг шнека, м;  $n$  - частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup> ( $n = 20...24$  мин<sup>-1</sup>);  $\rho_m$  - насыпная плотность муки, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_m = 600$  кг/м<sup>3</sup>);  $\varphi$  - коэффициент заполнения ( $\varphi = 0,8$ ).

Производительность дозатора воды  $Q_6$ , м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_6 = \nu \cdot n_g \cdot \kappa, \quad (3.7)$$

где  $\nu$  - вместимость одного кармана,  $\text{м}^3$  ( $\nu = (0,2...0,3) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ );  $n_g$  - количество отмериваемых доз в час ( $n_d = 1000...1100$  доз/ч);  $\kappa$  - коэффициент заполнения кармана водой ( $\kappa = 0,4...0,5$ ).

Потребляемая дозаторами мощность  $N$ , кВт,

$$N = Q_m \cdot l \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 / 1000 \cdot \eta, \quad (3.8)$$

где  $l$  - длина пути перемещения муки, м;  $\kappa_1$  - коэффициент сопротивления перемещению муки в корпусе дозатора ( $\kappa_1 = 1,2$ );  $\kappa_2$  - коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках ( $\kappa_2 = 1,1...1,2$ );  $\eta$  - КПД привода ( $\eta = 0,8...0,9$ ).

*Расчет тестомесителя.* Суммарная вместимость месильных корыт для заданной производительности прессы  $V$ ,  $\text{м}^3$ ,

$$V = Q_n \cdot \tau / \rho_m \cdot \kappa, \quad (3.9)$$

где  $Q_n$  - производительность прессы по сырым изделиям, кг/ч;  $\tau$  - продолжительность замеса, ч;  $\rho_m$  - плотность теста,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (табл. 3.4);  $\kappa$  - коэффициент заполнения корыта тестом ( $\kappa = 0,5...0,75$ ).

$$Q_n = Q'_n (100 - W_{\text{изд}}) / (100 - W_m), \quad (3.10)$$

где  $Q'_n$  - производительность прессы по сухим изделиям, кг/ч;  $W_{\text{изд}}$  - влажность сухих изделий, % ( $W_{\text{изд}} = 13$  %);  $W_m$  - влажность теста, %.

Общая длина месильных корыт  $L$ , м,

$$L = V / S_m, \quad (3.11)$$

где  $S_m$  - площадь поперечного сечения корыта,  $\text{м}^2$ ,

$$S_m = \pi \vartheta^2 / 2 + (h - \vartheta / 2), \quad (3.12)$$

здесь  $\vartheta$  - ширина корыта, м ( $\vartheta = 0,38...0,42$  м);  $h$  - высота корыта, м ( $h = 0,40...0,54$  м).

Производительность тестомесителя  $Q_m$ , кг/ч,

$$Q_m = [(100 - W_m) / (100 - W_{\text{изд}})] \cdot V \cdot \rho_n \cdot \kappa / \tau, \quad (3.13)$$

где  $\rho_n = 719 \text{ кг}/\text{м}^3$  - насыпная плотность теста (см. табл. 3.4).

Потребная мощность на замес теста  $N_m$ , кВт,

$$N_m = 0,45 \cdot V \cdot \kappa_3 \cdot \rho_m \cdot R \cdot \omega \cdot g / 1000, \quad (3.14)$$

где  $V$  - вместимость месильных корыт,  $\text{м}^3$ ;  $\kappa_3$  - коэффициент заполнения корыт тестом ( $\kappa_3 = 0,8$ );  $\rho_m$  - плотность теста,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (табл. 3.4);  $R$  - максимальный радиус месильного органа, м;  $\omega$  - угловая скорость вращения месильного органа, рад/с;  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$  - ускорение свободного падения.

*Расчет прессующего устройства.* Фактическая производительность макаронного прессы по сырым изделиям должна быть равна производительности тестомесителя.

Таблица 3.4

Плотность и насыпная плотность муки, полуфабрикатов и макаронных изделий

Продукт	Влажность продукта $W$ , %	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	
			без утряски	с утряской
Мука из пшеницы:				
высшего сорта	12,6...14,4	1460	677	770...900
I сорта	12,2...13,7	1460	600	725...900
Тесто (в тестомесителе)	29,0...31,0	1250	719	789
Тесто спрессованное	28,0...33,0	1392...1447	-	-
Полуфабрикаты:				
макароны особые	27,0...30,8	1320	637	727
макароны соломка	28,8...29,5	1280	612	771
вермишель	28,8...29,2	1280	516	616
рожки	29,4	1250	581	671
Готовые изделия:				
макароны особые	12,8...13,6	1330	411	452
макароны соломка	12,0...13,7	1320	305	368
вермишель	10,4...13,3	1300	346	408
лапша	12,8...13,7	1300	352	433
ракушки	10,8	1250	389	422

Производительность нагнетающего шнека  $Q_{\phi}$ , кг/ч,

$$Q_{\phi} = 0,25m' \rho_m \cdot m \left( R_2^2 - R_1^2 \right) \left( S_{uu} - \frac{\epsilon_2 + \epsilon_1}{2 \cos \alpha} \right) n_{uu} \cdot \kappa_n \cdot \kappa_n \cdot \kappa_c, \quad (3.15)$$

где  $m'$  - число заходов шнека ( $m' = 1$  для вермишели,  $m' = 3$  для лапши и макарон),  $\rho_m$  - плотность спрессованного теста,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_m = 1430 \text{ кг/м}^3$ );  $m$  - количество прессующих шнеков, ( $m = 1$  или  $2$ );  $R_2$  и  $R_1$  - соответственно наружный и внутренний радиус шнека, м ( $R_2 = 0,060$  м,  $R_1 = 0,027$  м);  $S_{uu}$  - шаг витков винтовой линии шнека, м,  $S_{uu} = mS_0$ ,  $S_0$  - расстояние между смежными витками, ( $S_0 = 0,1$  м);  $\epsilon_2$  - ширина винтовой лопасти шнека в нормальном сечении по наружному радиусу, м ( $\epsilon_2 = 25 \cdot 10^{-3}$  м);  $\epsilon_1$  - ширина винтовой лопасти шнека в нормальном сечении по внутреннему радиусу, м ( $\epsilon_1 = 5 \cdot 10^{-3}$  м);  $\alpha$  - угол подъема винтовой лопасти по среднему диаметру шнека, град,

$$\operatorname{tg} \alpha = S / 2\pi R_{cp}, \quad (3.16)$$

здесь  $R_{cp}$  - средний радиус шнека, м,  $R_{cp} = (R_1 + R_2)/2$ ;  $n_{uu}$  - максимальная частота вращения шнека,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\kappa_n$  - коэффициент наполнения полости шнека тестом (рис. 2.23) [8];  $\kappa_n$  - коэффициент прессования теста, учитывает степень уменьшения его объема в шнековом канале при переходе его из крошкообразного состояния в спрессованное;  $\kappa_c$  - коэффициент, характеризующий подачу теста шнеком, т. е. качество прессования ( $\kappa_c = 0,9 \dots 0,95$ ).

Коэффициент прессования теста

$$\kappa_n = \frac{\rho_n}{\rho_m} = \frac{\rho_n}{\left( 12,9 - \frac{176,7}{W_m} \right) \cdot 10^{-3} \cdot p + 1,373}, \quad (3.17)$$

где  $\rho_n$  - плотность теста,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_n = 719 \text{ кг/м}^3$ );  $\rho_m$  - плотность спрессованного теста,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_m = 1430 \text{ кг/м}^3$ );  $W_m$  - начальная влажность теста, %;  $P$  - давление прессования, МПа.

Мощность привода прессующего шнека  $N_{uu}$ , кВт,

$$N_{uu} = 215 p n_{uu} \operatorname{tg} \alpha (R_2^3 - R_1^3), \quad (3.18)$$

где  $p$  - давление прессования, МПа;  $n_{uu}$  - частота вращения шнека,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $R_1$  и  $R_2$  - внутренний и наружный радиусы шнеков, м.

*Расчет матриц.* Для матрицы выполняют технологический расчет, который заключается в определении ее производительности и соответствующего диаметра.

Производительность матрицы по сухим изделиям  $\Pi$ , кг/ч,

$$\Pi = 3600 \cdot \mathcal{G}_n \rho_m f \frac{100 - W_m}{100 - W_{изд}}, \quad (3.19)$$

где  $\mathcal{G}_n$  - скорость течения теста по формующим каналам, м/с;  $\rho_m$  - плотность спрессованного теста, кг/м<sup>3</sup>;  $f$  - площадь живого сечения матрицы, м<sup>2</sup>;  $W_m$  - влажность теста, %;  $W_{изд}$  - влажность готовых изделий, % ( $W_{изд} = 13$  %).

Площадь живого сечения матриц, м<sup>2</sup>, в зависимости от вида изделий:

а) для трубчатых изделий (для макарон)

$$f_M = \frac{\pi}{4} \cdot n_o \left( d_n^2 - d_e^2 \right), \quad (3.20)$$

где  $n_o$  - число формующих отверстий в матрице, шт. ( $n_o = 600$  шт.);  $d_n$  - наружный диаметр формующего отверстия, м ( $d_n = 5,5 \cdot 10^{-3}$  м);  $d_e$  - диаметр вкладыша, м ( $d_e = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м);

б) для вермишели:

$$f_e = \frac{\pi}{4} \cdot n_o d_e^2, \quad (3.21)$$

где  $n_o$  - число формующих отверстий в матрице ( $n_o = 1938$ );  $d_e$  - диаметр формующего отверстия, м ( $d_e = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м);

в) для лапши:

$$f_n = n_o l_n a, \quad (3.22)$$

где  $n_o$  - число формующих отверстий в матрице, шт. ( $n_o = 1140$  шт.);  $l$  - длина формующей щели, м ( $l = 4,0 \cdot 10^{-3}$  м);  $a$  - ширина формующей щели, м ( $a = 1 \cdot 10^{-3}$  м).

Площадь матрицы  $F$ , м<sup>2</sup>,

$$F = f / \kappa_f, \quad (3.23)$$

где  $\kappa_f$  - коэффициент живого сечения матрицы (табл. 3.5).

Диаметр матрицы  $D$ , м,

а) для круглых матриц

$$D = \sqrt{4F / \pi}, \quad (3.24)$$

б) длина прямоугольных матриц  $L$ , м,

$$L = F / B, \quad (3.25)$$

где  $B$  - ширина прямоугольной матрицы, м ( $B = 0,1$  м).

Скорость течения (выпрессовывания) теста по формулирующим каналам в зависимости от формы сечения канала  $\mathcal{G}_n$ , м/с:

а) для трубчатых изделий (макарон)

$$\mathcal{G}_n = \mathcal{G}_o + \frac{l}{4\mu} (\Delta p + \rho_m g) \left( \ln \frac{R_H}{R_g} \right)^{-1} \left[ \left( R_H^2 - R_g^2 \right) \ln \frac{r}{R_g} - \left( r^2 - R_g^2 \right) \ln \frac{R_H}{R_g} \right], \quad (3.26)$$

где  $\mathcal{G}_o$  - скорость скольжения (принимается  $\mathcal{G}_o = 0$ );  $\mu$  - динамическая вязкость, зависит от влажности макаронного теста, Па·с; ( $\mu = 0,4 \cdot 10^4 \dots 0,3 \cdot 10^6$  Па·с);  $\Delta p$  - перепад давления по длине формурующего канала, Па·с;  $\Delta p = (2 \dots 6) \cdot 10^6$  Па;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $l$  - длина канала, м;  $l = 0,003 \dots 0,007$  м;  $R_H$  и  $R_g$  - соответственно наружный и внутренний радиус отверстия трубки макарон (рис. 2.24) [8], м;  $r$  - радиус от оси кольцевого канала, м,

$$r = \frac{R_H - R_g}{2} + R_g. \quad (3.27)$$

Т а б л и ц а 3.5

Коэффициенты живого сечения макаронных матриц  
некоторых типов

Ассортимент	Число отверстий в матрице	$\kappa_f$
Макароны диаметром, мм:		
7,0	520	0,203
7,0	520	0,216
5,5	464	0,187
5,5	600	0,137
Рожки диаметром, мм:	462	0,156
5,0	462	0,156
5,5	454	0,149
Вермишель диаметром 1,5 мм	1938	0,15
Вермишель диаметром 2,5 мм	1122	0,062

Лапша размером, мм:		
5,0 x 1,0	436	0,02
4,0 x 1,0	1140	0,079

б) для вермишели

$$g_n = g_o + \frac{R^2}{4\mu} (\Delta p + \rho_m g) \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right], \quad (3.28)$$

где  $R$  - радиус сечения формующего отверстия, м;  $r = R/2$ , м;

в) для лапши

$$g_n = g_o + \frac{l}{4\mu} (\Delta p + \rho_m g) \left( \frac{l^2 - a^2}{2} \right), \quad (3.29)$$

где  $l$  и  $a$  - соответственно длина и ширина формующего отверстия, м.

Подставив в формулу (3.19) рассчитанные величины, получим производительность матрицы по готовым изделиям.

Расчет на прочность проводят с целью определения допустимой нагрузки (давление прессования) на матрицу, и для прямоугольных матриц толщина матрицы  $\delta$ , м,

$$\delta = B \sqrt{A \cdot p / [\sigma]}, \quad (3.30)$$

где  $B$  - ширина матрицы, м;  $A$  - коэффициент, который, в зависимости от диаметра отверстий и числа продольных рядов в матрице, составляет 1,40...13,7;  $p$  - расчетное давление прессования, Па;  $[\sigma]$  - допустимое напряжение материала матрицы, Па ( $[\sigma] = 140... 160$  МПа).



Таблица 3.6

## Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$S$ , м	$l$ , м	$\tau$ , ч	$Q'_n$ , кг/ч	$n_m$ , мин <sup>-1</sup>	$n_{ш}$ , мин <sup>-1</sup>	$P$ , МПа	$W_m$ , %	$n_o$ , шт.	Вид изделия	Чертеж пресса	
1	0,13	0,40	0,16	375	80	41	6,0	29,0	464	Макаронны	ЛПЛ-2М [20, с. 129, рис. 28]	
2	0,15	0,42	0,18	400	81	40	7,0	29,5	480			
3	0,16	0,55	0,20	385	82	43	6,0	30,0	520	обычно-	Б6-ЛПМ-500 [20, с.132, рис. 30]	
4	0,17	0,60	0,16	395	90	45	7,0	32,5	600	венные		
5	0,16	0,60	0,28	520	72	20	9,0	29,0	1938	Вермишель		
6	0,17	0,55	0,30	495	60	23	10,0	29,5	1735			
7	0,13	0,45	0,32	510	68	24	9,0	31,0	1122	Лапша		Б6-ЛПШ 1000 [20, с. 134, рис. 31]
8	0,14	0,60	0,28	980	60	22	11,0	29,0	1200			
9	0,17	0,58	0,30	985	62	23	12,0	29,5	1140			
10	0,13	0,42	0,32	1025	76	26	11,0	31,0	436			

## ЗАДАНИЕ № 4. РАСЧЕТ ТЕСТОМЕСИЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Задача:** выполнить расчет тестомесильной машины, если заданы:  $V$  - вместимость месильной камеры, м<sup>3</sup>;  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup> - плотность теста;  $\tau_3$  - время, необходимое для замеса теста, с ( $\tau_3 = 3 \dots 20$  мин);  $\tau_6$  - время для совершения вспомогательных операций, с;  $\lambda$  - коэффициент использования объема дежи ( $\lambda = 0,45 \dots 0,65$ );  $z$  - количество валов, шт.;  $D_d$  - наружный диаметр лопастей, м ( $D_d = 0,25 \dots 0,30$  м);  $d_6$  - диаметр вала, м ( $d_6 = 0,04 \dots 0,05$  м);  $S$  - шаг лопастей, м;  $S = (1,1 \dots 1,2) D_d$ ;  $n$  - частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>;  $\eta$  - КПД привода;  $G_0$  - масса дежи, кг;  $G_T$  - масса теста в деже, кг;  $r_d$  - радиус цапфы, м;  $\omega_2$  - угловая скорость дежи, рад/с;  $m$  - число лопастей, шт.;  $a$  - ширина лопатки, м;  $b$  - высота лопатки, м;  $\alpha$  - угол наклона лопасти к оси вращения, град;  $R$  - радиус вращения центра лопасти, м;  $B$  - ширина корыта, м;  $H$  - высота корыта, м.

**Цель работы:** изучение теоретических основ процесса замеса теста; знакомство с классификацией тестомесильных машин, устройством и принципом их работы; выполнение расчета тестомесильной машины.

### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

Производительность тестомесильных машин периодического действия  $\Pi$ , кг/с,

$$\Pi = \lambda V \rho / (\tau_3 + \tau_6), \quad (4.1)$$

где  $\lambda$  - коэффициент использования объема дежи ( $\lambda = 0,45 \dots 0,65$ );  $\tau_6$  - время для совершения вспомогательных операций, с ( $\tau_6 = 120 \dots 150$  с).

Производительность тестомесильных машин непрерывного действия  $\Pi$ , кг/с,

$$\Pi = z \frac{\pi (D_d^2 - d_6^2)}{240} S n \rho k_1 k_2 k_3, \quad (4.2)$$

где  $k_1$  - коэффициент подачи, зависящий от формы лопаток и их расположения на валу ( $k_1 = 0,2 \dots 0,5$ );  $k_2$  - отношение суммарной

площади лопастей к винтовой поверхности того же диаметра и шага ( $k_2 = 0,15...0,20$ );  $k_3$  - коэффициент, учитывающий площадь сечения, образуемую пересечением траекторий движения лопастей (для одновальной машины  $z = 1$ ,  $k_3 = 1$ , для двухвальной машины  $z = 2$ ,  $k_3 = 0,55...0,70$ ).

Для тестомесильных машин непрерывного действия производительностью до 30 т/ч можно принять следующие данные:  $D_n = (0,25...0,30)$  м;  $d_e = (0,04...0,05)$  м;  $S = (1,1...1,2) D_n$ .

Вместимость месильной камеры для машин непрерывного действия  $V_n, \text{м}^3$ ,

$$V_n = \Pi \tau_3 / (\rho k'_1), \quad (4.3)$$

где  $k'_1$  - коэффициент заполнения месильной камеры ( $k'_1 = 0,6...0,7$ ).

Мощность электродвигателя привода тестомесильных машин периодического действия  $N_{\text{дв}}$ , кВт,

$$N_{\text{дв}} = (N_1 + N_2) / \eta, \quad (4.4)$$

где  $N_1$  - мощность, необходимая для вращения месильного органа при замесе теста, кВт;  $N_2$  - мощность, необходимая для вращения дежи, кВт;  $\eta$  - КПД привода;

$$N_1 = 4 \cdot 10^{-4} \lambda V \rho R \omega_1 g, \quad (4.5)$$

где  $\omega_1$  - угловая скорость месильного органа, рад/с;

$$N_2 = 10^{-3} g (G_\partial + G_T) f r_4 \omega_2, \quad (4.6)$$

здесь  $f$  - коэффициент трения вала дежи в опорах ( $f = 0,2...0,3$ );  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

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

$$N = \frac{(P_0 v_0 + P_p v_p)}{1000 \eta} m, \quad (4.7)$$

где  $P_0$  и  $P_p$  - соответственно осевая и радиальная составляющая равнодействующей сил сопротивления, действующих на лопасть, Н;  $v_0$  и  $v_p$  - соответственно осевая и окружная скорость движения точки приложения равнодействующей сил сопротивления, действующей

щих на лопасть, м/с;  $m$  - число лопастей в тестомесильной машине, шт.;  $\eta$  - КПД привода ( $\eta = 0,83 - 0,92$ );

$$P_0 = F \left[ R\rho \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) + 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) \right] (\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad (4.8)$$

где  $F = a \cdot b$  - площадь лопасти, погруженной в тесто, м<sup>2</sup>;  $c$  - удельное сопротивление теста с материалом лопасти, Па ( $c = 5000$  Па);  $\gamma$  - угол внутреннего трения теста ( $\gamma = 40^\circ$ );  $\mu$  - коэффициент трения теста о лопасть ( $\mu = 1$ ),

$$P_p = F \left[ R\rho \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) + 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\gamma}{2} \right) \right] (\cos \alpha - \mu \sin \alpha), \quad (4.9)$$

$$v_0 = v_p \cos \alpha \sin \alpha, \quad (4.10)$$

$$v_p = \omega R. \quad (4.11)$$

Площадь поперечного сечения корыта  $\Phi$ , м<sup>2</sup>,

$$\Phi = \pi B^2 / 2 + (H - B / 2). \quad (4.12)$$

Длина корыта  $L$ , м,

$$L = V / \Phi. \quad (4.13)$$



## ЗАДАНИЕ № 5. РАСЧЕТ ЦЕНТРИФУГИ

**Задача :** выполнить расчет центрифуги, если заданы: диаметр центрифуги  $D$ , м; высота цилиндрической части центрифуги  $H$ , м; частота вращения  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ; масса утфеля  $G_y$ , кг; состав утфеля:  $B_y$  - массовая доля сухих веществ в утфеле, %;  $Дб_y$  - доброкачественность;  $\rho_y = 1450 \text{ кг/м}^3$  - плотность утфеля; характеристика зеленой патоки: массовая доля сухих веществ в белой патоке  $B_n$ , %;  $Дб_n$  - доброкачественность; вязкость  $\mu = 0,1893 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотность зеленой патоки  $\rho_n = 1372,5 \text{ кг/м}^3$ ; характеристика белой патоки:  $B_o$  - массовая доля сухих веществ в белой патоке, %;  $Дб_o$  - доброкачественность белой патоки; кинематическая вязкость белой патоки  $\nu = 1,47 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; плотность белой патоки  $\rho_{o,n} = 1392 \text{ кг/м}^3$ ; температура утфеля и патоки  $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ; эффективный диаметр кристаллов сахара  $d = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ; диаметр загрузочного отверстия  $d_3$ , м;  $H'_1$  - высота конической части центрифуги, м.

**Цель работы :** изучение теоретических основ процесса разделения суспензий; знакомство с классификацией центрифуг, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета центрифуги.

### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

Начальная толщина слоя утфеля в центрифуге  $S_o$ , м,

$$S_o = R - \sqrt{R^2 - \frac{G_y}{\pi \rho_y H}}, \quad (5.1)$$

где  $R = D/2$  - радиус барабана центрифуги, м.

Объемная доля патоки в утфеле  $\alpha$ , %,

$$\alpha = \left[ (1 + c_1)(100 - B_y) + B_y(1 - 0,01Дб_y) \right] \frac{\rho_y}{\rho_n}, \quad (5.2)$$

где  $c_1$  - коэффициент растворимости сахара в патоке при данной ее доброкачественности и температуре

$$c_1 = \frac{325 + 0,04t^2}{Дб_y + 63,5}. \quad (5.3)$$

Количество патоки, вытекающей в период уплотнения утфеля в центрифуге  $x$ , %,

$$x = \frac{\alpha - 25,6}{0,744}. \quad (5.4)$$

Содержание сахара, остающегося в центрифуге, на единицу объема патоки, вытекающей в период уплотнения  $V$ , %,

$$V = \frac{100 - x}{x}. \quad (5.5)$$

Масса уплотненного утфеля в центрифуге  $G_1$ , кг,

$$G_1 = G_y \left( 1 - \frac{x}{100} \right). \quad (5.6)$$

Толщина слоя уплотненного утфеля  $S_1$ , м,

$$S_1 = R - \sqrt{R^2 - \frac{G_1}{\pi \rho_y H}}. \quad (5.7)$$

Кинематическая вязкость патоки  $\nu$ , м<sup>2</sup>/с,

$$\nu = \mu_n / \rho_n. \quad (5.8)$$

Коэффициент фильтрации патоки через сахар  $k_n$ , м·с,

$$k_n = 0,12d^2 / \nu. \quad (5.9)$$

Продолжительность отделения зеленой патоки  $\tau_1$ , с,

$$\tau_1 = \frac{S_1}{k_n \alpha_1 \omega^2} \left[ \frac{S_1}{(S_0 + S_1)V} + \frac{m(D - S_1)}{D} \right], \quad (5.10)$$

где  $\alpha_1$  - коэффициент, зависящий от диаметра центрифуги (для  $D = 1,2$  м  $\alpha = 0,054$  и для  $D = 1,0$  м  $\alpha = 0,046$ );  $m$  - коэффициент пористости слоя утфеля ( $m = 0,256$ );  $\omega = \pi n / 30$  - частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>.

Расчетная кинематическая вязкость  $\nu_p$ , м<sup>2</sup>/с,

$$\nu_p = (\nu_1 + 2\nu_2) / 3, \quad (5.11)$$

где  $\nu_1 = 4,4 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с - кинематическая вязкость воды;  $\nu_2 = 1,47 \times 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с - кинематическая вязкость белой патоки.

Коэффициент фильтрации белой патоки через сахар  $k_6$ , м·с,

$$k_{\delta} = S_1 d^2 / \nu_p. \quad (5.12)$$

Коэффициент  $\theta$

$$\theta = \frac{10^5}{(100 - B_{\delta}) \rho_{\delta,n}} - 1, \quad (5.13)$$

где  $\rho_{\delta,n}$  - плотность белой патоки ( $\rho_{\delta,n} = 1392 \text{ кг/м}^3$ ).

Конечная толщина утфеля  $S_1$ , м,

$$S_1 = \frac{q}{\pi H (D - 2S_1) m}, \quad (5.14)$$

где  $q = G_{\delta} / \rho_{\delta}$  - объем подаваемой в центрифугу воды,  $\text{м}^3$ .

Оптимальная продолжительность подачи воды  $\tau'_o$ , с,

$$\tau'_o = \frac{m(DS_2 - S_2^2)(1 + 0,5\theta)}{k_{\delta} D \alpha \omega^2}. \quad (5.15)$$

Время для отвода белой патоки после окончания воды  $\tau'_2$ , с,

$$\tau'_2 = \frac{m(DS_1 - S_1^2)(1 + 0,5\theta)}{k_{\delta} D \alpha \omega^2}. \quad (5.16)$$

Продолжительность пробелки  $\tau_2$ , с,

$$\tau_2 = \tau'_o + \tau'_2. \quad (5.17)$$

Минимальный расход пара на пропарку сахара при нагреве его от  $t_1 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $t_2 = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{м}^3$  за один цикл,

$$q_o = \pi(D - S_1)HS_1 \left[ m + \frac{\rho_c c_c (t_2 - t_1)}{(i_1 - i_2)} \right], \quad (5.18)$$

где  $\rho_c = 1115 \text{ кг/м}^3$  - плотность сахара;  $c_c = 1,48 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$  - удельная теплоемкость сахара;  $i_1 = 2760 \text{ кДж/кг}$  - удельная энтальпия пара, подаваемого в центрифугу;  $i_2 = 2580 \text{ кДж/кг}$  - энтальпия пара, выходящего из центрифуги.

Коэффициент фильтрации пара  $k_{нар}$ , м·с,

$$k_{нар} = \frac{S_1 \cdot d^2}{\nu_{нар}}, \quad (5.19)$$

где  $\nu_{нар} = 0,216 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  - кинематическая вязкость пара.

Расход пара через слой сахара в центрифуге  $G_{нар}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,



$$G_{нар} = \frac{k_{нар} \omega^2 D^2}{4gS_1} (D - S_1) H \pi. \quad (5.20)$$

Продолжительность пропарки  $\tau_1$ , с,

$$\tau_1 = q_o / G_{нар}. \quad (5.21)$$

Полный объем, возможный к загрузке утфелем:

для обычной центрифуги (цилиндрический барабан), м<sup>3</sup>,

$$V = \frac{\pi (D^2 - d_3^2) H}{4}, \quad (5.22)$$

где  $d_3$  - диаметр загрузочного отверстия, м ( $d_3 = 0,8$  м);

для саморазгружающейся центрифуги (цилиндроконический барабан), м<sup>3</sup>,

$$V = \frac{\pi}{12} \left[ 3(D^2 - d_3^2) H + (D^2 + Dd_3 - 2d_3^2) H'_1 \right], \quad (5.23)$$

где  $H'_1$  - высота конической части, м.

Расчетная производительность центрифуги  $A$ , кг/с,

$$A = \frac{1440 V \varphi \varepsilon y}{(1 - x)(\tau_1 + \tau_2)}, \quad (5.24)$$

где  $\varphi$  - коэффициент заполнения центрифуги

$$\varphi = V_o / V, \quad (5.25)$$

здесь  $V_o$  - общий объем центрифуги, м<sup>3</sup> (для цилиндрической центрифуги  $V_o = \pi D^2 H / 4$ , для цилиндрической центрифуги  $V_o = \pi D^2 H / 4 + \pi D H'_1 / 12$ );  $\varepsilon$  - отношение фактического числа оборотов центрифуги к номинальному ( $\varepsilon = 0,89$ ).

Мощность, затрачиваемая для разгона центрифуги  $N_4$ , кВт,

$$N_4 = \frac{G_y R^2 \omega^2}{2000 \cdot \tau_o}, \quad (5.26)$$

где  $G_y$  - масса центрифуги, кг;  $R$  - радиус центрифуги, м;  $\omega$  - частота вращения центрифуги, с<sup>-1</sup>;  $\tau_o$  - продолжительность разгона центрифуги, с ( $\tau_o = 50$  с).

Мощность, затрачиваемая для разгона утфельного кольца в центрифуге  $N_y$ , кВт,

$$N_y = \frac{G_y(R^2 + r^2)\omega^2}{4000\tau_I' \cdot \eta}, \quad (5.27)$$

где  $G_y = V \cdot \rho_y$  - масса утфеля в центрифуге, кг;  $r$  - внутренний радиус утфельного кольца, м,

$$r = R - S_o, \quad (5.28)$$

здесь  $\tau_I'$  - продолжительность разгона утфеля, с ( $\tau_I' = 40$  с);  $\eta = 0,8$  - коэффициент, учитывающий гидравлические и прочие сопротивления при перемещении утфеля и патоки в барабане.

Мощность, затрачиваемая на трение центрифуги о воздух  $N_f$ , кВт,

$$N_f = 1,36 \cdot \beta \cdot H \cdot D^4 \cdot n^3, \quad (5.29)$$

где  $\beta = 1,32 \cdot 10^{-9}$  - эмпирический коэффициент.

Мощность, затрачиваемая на трение в подшипниках  $N_T$ , кВт,

$$N_T = \frac{f'(G_u - G_y)g \cdot v}{1000}, \quad (5.30)$$

где  $f' = 0,03$  - коэффициент трения, зависящий от конструкции подшипника;  $G_u = 380$  кг - масса центрифуги;  $v$  - окружная скорость на поверхности шейки вала в подшипнике, м/с,

$$v = \pi d'n / 60, \quad (5.31)$$

здесь  $d'$  - диаметр шейки вала, м ( $d' = 0,1$  м).

В период разгонки и загрузки центрифуги мощность определяется как сумма мощностей  $N_I$ , кВт,

$$N_I = N_u + N_y + N_f + N_T. \quad (5.32)$$

Мощность в средний период работы  $N_{II}$ , кВт,

$$N_{II} = \frac{1}{4}N_y + N_f + \frac{2}{3}N_T. \quad (5.33)$$

Мощность в конечный период работы  $N_{III}$ , кВт,

$$N_{III} = N_f + \frac{3}{5}N_T. \quad (5.34)$$

Средняя величина мощности на центрифугу с учетом длительности периодов, кВт,

$$N = 0,23N_I + 0,44N_{II} + 0,33N_{III}. \quad (5.35)$$

Т а б л и ц а 5.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер вариан- та	$D$ , м	$H$ , м	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$d$ , мм	$H'_l$ , м	$G_6$ , кг	Характеристика утфеля			$B_6$ , %	Марка центрифуги
							$B_y$ ,%	$\overline{D}_{6y}$	$G'_y$ ,кг		
1	0,95	0,75	950	4,0	-	12,0	92,0	92,5	400	77,0	ФПН-1251Л-2 [5, с. 366- 371]
2	1,00	0,48	1000	4,1	-	11,8	91,2	92,4	380	77,3	
3	0,95	0,47	1000	4,0	-	11,4	91,6	92,2	360	77,4	"Буккау-Вольф" [5, с. 372-373]
4	1,20	0,49	950	4,1	-	11,8	92,2	92,5	370	77,5	
5	1,10	0,46	1000	4,0	-	12,1	92,4	92,7	370	77,3	ПС-1200 [5, с. 374-376]
6	0,90	0,47	980	3,9	-	12,3	92,3	92,6	360	77,2	
7	1,00	0,47	950	4,0	0,39	12,3	92,1	92,4	390	77,4	ФВИ-1000К-1 [5, с. 390-391]
8	1,10	0,49	990	4,1	0,37	12,2	89,9	92,5	380	77,1	
9	1,10	0,48	1060	4,0	0,38	12,0	89,9	92,4	400	77,0	НГП-4К-860 [5, с. 399-403]
10	1,20	0,50	1090	3,8	0,41	11,7	89,5	92,3	420	77,1	

## Задание № 6. РАСЧЕТ СЕПАРАТОРА

**Задача :** выполнить расчет сепаратора если заданы:

$\omega$  - угловая скорость вращения барабана, рад/с;  $R_o$  и  $R_m$  - внешний и внутренний радиусы тарелок, м;  $R_o$  - максимальный диаметр диска, м;  $V$  - объем шламового пространства, м<sup>3</sup>;  $m_o$  - 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.

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

### Рекомендации для выполнения расчетной части Методика расчета

Производительность сепаратора  $\Pi$ , м<sup>3</sup>/ч,

$$\Pi = 10^{-6} \beta \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (R_o^3 - R_m^3) \cdot d^2 [(\rho - \rho_o) / 4\mu_{\text{мол}}] \quad (6.1)$$

где  $\beta$  - поправочный коэффициент, учитывающий разницу между теоретическим и реальным процессом ( $\beta = 0,2 \dots 0,5$ );  $z$  = (130...150) шт - число тарелок;  $\alpha$  - угол наклона образующей конуса тарелки ( $\alpha = 45 \dots 60^\circ$ );  $d$  - эквивалентный диаметр частицы легкой фракции (размер жировых шариков), м;  $\rho_o$  и  $\rho$  - плотность сливок и молока, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_o = 960 \dots 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho = 1000 \dots 1030$  кг/м<sup>3</sup>);  $\mu$  - динамическая вязкость продукта, Па·с;  $\mu_{\text{слив}} = (1,5 \dots 5,6) \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\mu_{\text{нах}} = 1,7 \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\mu_{\text{мол}} = (0,6 \dots 1,3) \cdot 10^{-3}$  Па·с.

Размер жировых шариков  $d$ , мм,

$$d = (m / 0,04) + 0,5, \quad (6.2)$$

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

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

$$p = (\rho_{\text{нах}} / 50000)(R_o^2 - r_k^2), \quad (6.3)$$

где  $\rho_{\text{нах}}$  - плотность обезжиренного молока (пахты), кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{\text{нах}} = 1030$  кг/м<sup>3</sup>);  $r_k$  - внутренний радиус кольца жидкости, м ( $r_k = 0,015$  м).

Время непрерывной работы сепаратора между разгрузкой-

ми  $\tau$ , ч,

$$\tau = \frac{0,1 \cdot V}{\Pi \cdot a}, \quad (6.4)$$

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

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

$$\omega_{кр} = \frac{l}{l-c} \sqrt{K/m_b}, \quad (6.5)$$

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

$$K = \frac{3EI}{c^2(c+l)}, \quad (6.6)$$

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

$$I = 0,05d_g^4, \quad (6.7)$$

здесь  $d_g$  - диаметр вала, м ( $d_g = 0,040 \dots 0,045$  м).

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

$$N = 1,2 \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_{np}}, \quad (6.8)$$

где  $\eta_{np}$  - КПД привода ( $\eta_{np} = 0,92 \dots 0,95$ );  $N_1$  - мощность, затрачиваемая для сообщения выбрасываемой из сепаратора жидкости избыточного давления, кВт,

$$N_1 = \frac{\Pi \cdot p}{\eta_{н.д} \cdot 1000}, \quad (6.9)$$

здесь  $p$  - давление жидкости на выходе, Па;  $p = (2,0 \dots 2,5) \cdot 10^5$  Па;  $\eta_{н.д}$  - КПД напорного диска ( $\eta_{н.д} \approx 0,3$ );  $N_2$  - мощность, необходимая для преодоления сил трения барабана о воздух, кВт,

$$N_2 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_g \cdot F \cdot v_b^3, \quad (6.10)$$

здесь  $\rho_g$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_g = 1,23$  кг/м<sup>3</sup>);  $F$  - общая площадь поверхности трения барабана, м<sup>2</sup>,

$$F \approx \frac{\pi(R_{\sigma}^2 - R_M^2)}{\cos \alpha} + 0,4 \cdot 10^{-3} R_{\sigma} \cdot z, \quad (6.11)$$

здесь  $v_{\sigma}$  - окружная скорость барабана, м/с,

$$v_{\sigma} = \pi \cdot n \cdot R_{\sigma} / 30, \quad (6.12)$$

где  $N_3$  - мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках, кВт,

$$N_3 = 10^{-3} \cdot \mu \cdot G \cdot g \cdot v_{\psi}, \quad (6.13)$$

здесь  $\mu$  - коэффициент трения ( $\mu = 0,03$  для шарикоподшипников);  
 $v_{\psi}$  - линейная скорость вращения вала, м/с,

$$v_{\psi} = \pi n d_{\sigma} / 60, \quad (6.14)$$

где  $d_{\sigma}$  - диаметр вала, м.

Т а б л и ц а 6.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$R_{\phi}$ , м	$R_m$ , м	$R_{\delta}$ , м	$V \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup>	$m_{\phi}$ , м	$c$ , м	$l$ , м	$G$ , 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 [36, с. 88, рис. 60, а]
2	520	0,16	0,060	0,075	5,0	83	0,31	0,59	109	
3	530	0,16	0,070	0,075	5,0	84	0,34	0,60	110	
4	560	0,18	0,070	0,075	4,7	87	0,34	0,60	113	
5	680	0,15	0,050	0,075	4,9	130	0,32	0,61	158	Сепаратор молокоочиститель с пульсирующей выгрузкой осадка [36, с. 89, рис. 60, б]
6	620	0,20	0,065	0,080	5,3	83	0,34	0,61	113	
7	630	0,20	0,065	0,080	5,2	84	0,34	0,62	112	
8	650	0,18	0,065	0,080	5,3	86	0,32	0,60	111	
9	580	0,20	0,070	0,085	5,2	83	0,35	0,62	109	Сепаратор-кларификатор [45, с. 176, рис. 5.7]
10	630	0,19	0,075	0,085	5,6	86	0,32	0,59	110	

## ЗАДАНИЕ № 7. РАСЧЕТ ФАРШЕМЕШАЛКИ

**Задача :** выполнить расчет фаршемешалки, если заданы:  $V$  - геометрическая емкость дежи мешалки,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  - плотность перемешиваемого продукта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  - общее время перемешивания смеси, мин;  $C$  - число парных лопастей на валу, шт.;  $n$  - число оборотов лопастного вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $r$  - радиус лопастного вала, м;  $z$  - число лопастей на ведущем и ведомом валах, шт.;  $n_1$  - число оборотов выходного вала привода поворота дежи,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\delta$  - толщина стенки дежи, м; материал дежи – нержавеющая сталь X18H10T;  $\rho_{\text{ст}}$  - плотность стали,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

**Цель работы:** изучение конструкций и принципа работы мешалок; определить производительность; найти геометрические размеры рабочих органов; вычислить сопротивления среды, испытываемое вращающимися лопастями ведущего и ведомого валов; рассчитать мощность двигателя привода лопастей и привода поворота дежи.

### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

На рис. 1 представлен эскиз фаршемешалки.

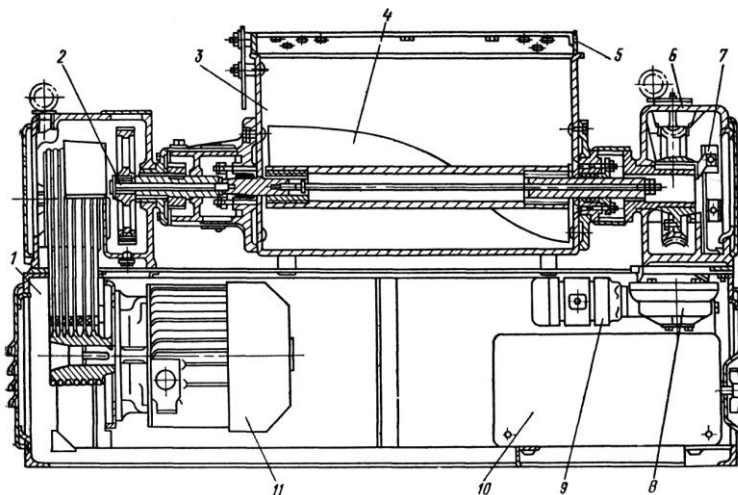


Рис. 1. Эскиз фаршемешалки:



1 – станина; 2 – привод месильных винтов; 3 – дежа; 4 – месильные винты; 5 – крышка; 6 – привод опрокидывания корыта; 7 – ограничитель опрокидывания; 8 – редуктор; 9 – реверсивный электродвигатель; 10 – шкаф электрооборудования; 11 – электродвигатель

*Определение производительности.*

Производительность фаршемешалки  $\Pi$ , кг/с,

$$\Pi = \alpha \frac{V\rho}{60t}, \quad (7.1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент заполнения или использования полезной емкости ( $\alpha=0,5\dots0,7$ );  $V$  – геометрическая емкость дежи мешалки,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность перемешиваемого продукта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – полная продолжительность перемешивания, включая загрузку и выгрузку, мин.

*Определение геометрических размеров рабочих органов.*

Радиус половины цилиндрического корпуса  $R$ , м фаршемешалки или размах лопастей определяется из формулы:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}}, \quad (7.2)$$

где  $V$  – геометрический объем дежи мешалки;  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты, определяющие геометрические размеры резервуара (ширину, длину и высоту) в зависимости от радиуса размаха лопастей  $K_1 = 3,72\dots3,47$ ;  $K_2 = (0,45\dots0,48) \cdot C$ ;  $K_3 = 3,76\dots3,8$ .

В зависимости от радиуса размаха лопастей определяется габаритные размеры дежи: ширина  $B$ , м, высота  $H$ , м и длина  $L$ , м по формулам

$$B = 3,72 \cdot R, \quad L = 3,15 \cdot R, \quad H = 3,76 \cdot R. \quad (7.3)$$

Шаг между лопастями  $S$ , м определяется по формуле

$$S = \frac{L}{C}, \quad (7.4)$$

где  $L$  – длина дежи;  $C$  – число парных лопастей на валу.

Межцентровое расстояние между валами определяется в зависимости от радиуса размаха лопастей по формуле

$$a_w = (1,70\dots1,41) \cdot R. \quad (7.5)$$

Исходя из определенных ранее габаритных размеров резервуара, корректируется межцентровое расстояние.

Габаритные размеры лопасти: ширина  $B_1$ , м и длина  $L_1$ , м определяется в зависимости от радиуса размаха лопастей по формулам

$$B_1 = (0,4 \dots 0,6) \cdot R, \quad (7.6)$$

$$L_1 = (0,56 \dots 0,68) \cdot R. \quad (7.7)$$

*Вычисление сопротивления среды, испытываемое вращающимися лопастями ведущего и ведомого валов.*

Сопротивление, испытываемое одной лопастью, определяется по формуле:

$$P = \sigma F, \quad (7.8)$$

где  $\sigma$  – удельное сопротивление, Н/м<sup>2</sup>;  $F$  – лобовая поверхность лопасти, м<sup>2</sup>.

Удельное сопротивление лопасти  $\sigma$ , Н/м<sup>2</sup> равно

$$\sigma = \sigma_0 + a v, \quad (7.9)$$

где  $\sigma_0$  – условное начальное сопротивление, Н/м<sup>2</sup>, ( $\sigma_0=4000 \dots 8000$  Н/м<sup>2</sup>);  $a$  – постоянный параметр, зависящий от вида фарша, ( $a = 4000 \dots 5000$ );  $v$  – скорость вращения лопастей, м/с, определяемая по формуле

$$v = \frac{\pi n R}{30}, \quad (7.10)$$

где  $n$  – число оборотов лопастного вала, мин<sup>-1</sup>.

Лобовая площадь поверхности лопасти  $F$ , м<sup>2</sup>

$$F = (R - r) \cdot L_1, \quad (7.11)$$

где  $r$  – радиус лопастного вала, м ( $r=0,04$  м).

*Расчет мощности двигателя привода лопастей и привода поворота дежи.*

Мощность двигателя  $N$ , кВт привода лопастей двухвальной фаршемешалки определяется по формуле

$$N = 2 \frac{zP \cdot v}{1000\eta}, \quad (7.12)$$

где  $z$  – число лопастей на ведущем и ведомом валах.

Мощность потребляемая на привод поворота дежи фаршемешалки определяется по формуле

$$N = \frac{M \cdot \omega \cdot \eta_a}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_1}, \quad (7.13)$$

где  $M$  – момент сопротивления повороту дежи, Н·м;  $\omega$  – угловая скорость вращения дежи,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\eta_a$  – коэффициент запаса мощности в момент пуска ( $\eta_a = 1,3 \dots 1,5$ );  $\eta$  – КПД привода поворота дежи ( $\eta = 0,8$ );  $\eta_1$  – КПД редукторной части мотор-редуктора ( $\eta_1 = 0,87$ ).

Момент сопротивления повороту дежи  $M$ , Н·м равен

$$M = 0,5 P' \cdot B, \quad (7.14)$$

где  $P'$  – сила сопротивления повороту дежи, Н;  $B$  – ширина дежи фаршемешалки, м.

$$P' = m \cdot g, \quad (7.15)$$

где  $m$  – суммарная масса дежи фаршемешалки и находящегося в ней фарша, кг.

$$m = m_1 + m_2, \quad (7.16)$$

здесь  $m_1$  – масса дежи, кг;  $m_2$  – масса фарша, кг.

$$m_2 = \alpha \cdot V \cdot \rho, \quad (7.17)$$

здесь  $\alpha$  – коэффициент заполнения дежи ( $\alpha = 0,7$ );  $V$  – емкость дежи,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность фарша,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Угловая скорость вращения дежи  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$  равна

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_1}{30}, \quad (7.18)$$

где  $n_1$  – число оборотов выходного вала привода поворота дежи  $\text{мин}^{-1}$ .

Т а б л и ц а 7.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$V$ , м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t$ , мин	$C$ , шт.	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$r$ , м	$z$ , шт.	$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	$\delta$ , м	$\rho_{ст}$ , кг/м <sup>3</sup>
1	0,12	1020	12	2	45	0,03	4	4,5	0,001	7300
2	0,14	1040	13	1	43	0,04	5	5,3	0,002	7200
3	0,13	1050	14	2	49	0,045	4	4	0,001	7500
4	0,17	1030	13	1	42	0,035	3	5,4	0,002	7400
5	0,15	1070	15	2	40	0,04	4	5	0,001	7900
6	0,16	1080	19	1	46	0,05	3	4,9	0,002	7600
7	0,12	1090	16	2	49	0,03	4	4,6	0,001	7300
8	0,14	1030	17	2	47	0,045	5	5,3	0,002	7700
9	0,13	1040	18	1	44	0,04	4	5	0,001	7800
10	0,17	1050	19	2	48	0,055	5	4,9	0,002	7900

## ЗАДАНИЕ № 8. РАСЧЕТ ТЕСТОЗАКАТОЧНОЙ МАШИНЫ

**Задача :** выполнить расчет тестозакаточной машины, если задано:  $v_n$  - скорость несущей ленты, м/с;  $v_\phi$  - скорость формующей ленты, м/с;  $D$  - диаметр вала, м;  $\omega$  - угловая скорость вала,  $c^{-1}$ ;  $d$  - зазор между несущим и формующим рабочим органом, м;  $\alpha$  - угол между рабочими поверхностями несущего и формующего органов, град.

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа работы тестозакаточной машины; определить производительность и мощность привода тестозакаточной машины.

### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

На рис. 1 представлен эскиз закаточной машины.

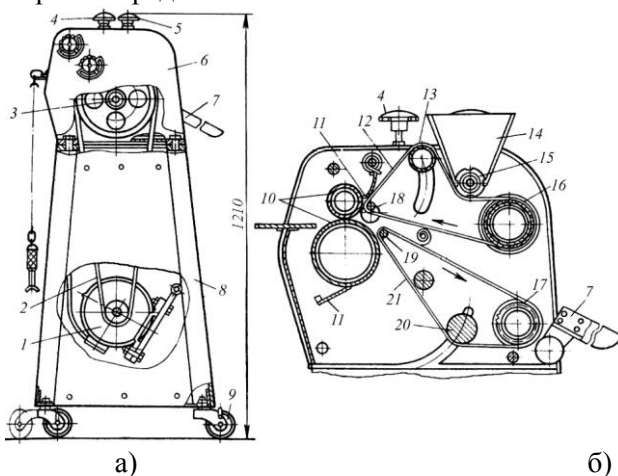


Рис. 1. Эскиз закаточной машины: а – общий вид; б – закаточная головка: 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – вал; 4, 5 – винты; 6 – закаточная головка; 7 – лоток; 8 – станина; 9 – каток; 10 – раскатывающий валок; 11 – пластинчатые ножи; 12, – ленточные транспортеры; 13 – натяжной валик; 14 – воронка; 15 – валик мукопосыпателя; 16 – приводной барабан; 17 – приводной барабан; 18, 19 – валики; 20 – натяжной валик

*Определение производительности.*

Производительность  $\Pi$ , шт/с, тестозакаточной машины ленточного типа равна

$$\Pi = \frac{(v_n - v_\phi) \mu}{2a}, \quad (8.1)$$

где  $v_n, v_\phi$  – скорость несущей и формирующей ленты, м/с;  $\mu$  – коэффициент проскальзывания ( $\mu = 0,8$ );  $a$  – шаг между центрами заготовок, м ( $a = (5 \dots 6)d$ ).

Необходимая длина зоны уплотнения рулона  $L$ , м, в тестозакаточной машине

$$L = \frac{k\pi d}{\left(1 + \frac{2v_\phi}{v_n - v_\phi}\right)}, \quad (8.2)$$

где  $k$  – необходимое количество оборотов тестовой заготовки в зоне уплотнения ( $k=6 \dots 8$ );  $d$  – зазор между несущим и формирующим рабочим органом, м.

Длительность обработки  $\tau$ , с, тестовой заготовки формирующим органом

$$\tau = \frac{2L}{v_n + v_\phi} \quad (8.3)$$

*Определение мощности электродвигателя.*

Мощность электродвигателя тестозакаточной машины  $N$ , кВт,

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (8.4)$$

где  $N_1$  – мощность, необходимая для вальцевания тестовой заготовки, кВт;  $N_2$  – мощность, необходимая для уплотнения рулона в зоне закатки, кВт;  $\eta$  – КПД привода ( $\eta = 0,8$ ).

Мощность  $N_1$ , кВт, необходимая для привода узла прокатки

$$N_1 = \frac{M\omega}{1000}, \quad (8.5)$$

где  $M$  – крутящий момент на валках:

$$M = P \left( D \sin \frac{\beta}{2} + d_0 \mu_{\text{пр}} \right), \quad (8.6)$$

здесь  $P$  – распорное усилие, Н;  $D$  – диаметр валка, м;  $\beta$  – угол захвата тестовой заготовки, град;  $d_0$  – диаметр цапфы валка, м;  $\mu_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения в подшипниках;  $\omega$  – угловая скорость валка рад/с.

Распорное усилие  $P$ , Н находится по формуле

$$P = F p_{\text{ср}}, \quad (8.7)$$

где  $F$  – вертикальная проекция поверхности контакта заготовки с валком, м<sup>2</sup> ( $F=0,1D$ );  $p_{\text{ср}}$  – среднее давление тестовой заготовки на валок;  $p_{\text{ср}} = 12 \dots 40$  кПа).

Мощность  $N_2$ , кВт, необходимая для обработки тестовых заготовок в зоне уплотнения рулона,

$$N_2 = mP(v_n + v_\phi) \left( \sin \varphi + 2 \sqrt{\sin \frac{\alpha}{2} \cos \varphi + f \cos \varphi} \right) / 1000, \quad (8.8)$$

где  $m$  – количество одновременно обрабатываемых заготовок, шт, определяемое по формуле

$$m = \frac{L}{a}, \quad (8.9)$$

где  $\varphi$  – угол между равнодействующей сил сжатия заготовки и вертикальной осью (для заготовок батанообразных изделий  $\varphi \approx 10 \dots 15$  град);  $f$  – коэффициент трения между лентами конвейеров и опорными щитами ( $f=0,1$ );  $P$  – сила сжатия заготовки между несущим и формирующим рабочим органом, Н:

$$P = p_0 l b, \quad (8.10)$$

здесь  $p_0$  – давление на тестовую заготовку ( $p_0 = 50$  кПа);  $l$  – длина заготовки, м ( $l=0,25$  м);  $b$  – ширина площади контакта заготовки с рабочими органами, м:

$$b = d \sqrt{\frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right)}, \quad (8.11)$$

здесь  $\alpha$  – угол между рабочими поверхностями несущего и формирующего органов, град.

Т а б л и ц а 8.1

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$v_n$ , м/с	$v_\phi$ , м/с	$D$ , м	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$d$ , м	$\alpha$ , град
1	1,0	0,3	0,80	1,6	0,040	10
2	1,5	0,2	0,90	3,5	0,045	11
3	1,4	0,35	0,85	2,3	0,050	12
4	1,2	0,4	0,70	1,9	0,035	10
5	1,9	0,3	0,75	3,2	0,055	9
6	1,3	0,5	0,95	2,0	0,030	13
7	1,7	0,35	0,80	1,5	0,045	12
8	1,5	0,4	0,70	2,9	0,040	9
9	1,6	0,5	0,85	3,2	0,050	10
10	1,8	0,45	0,90	3,5	0,035	11



## ЗАДАНИЕ № 9. РАСЧЕТ БАРАБАННОГО ВАКУУМ-ФИЛЬТРА

**Задача** : выполнить расчет барабанного вакуум фильтра для выделения дрожжей из дрожжевой суспензии, если задано:  $G_c$  - количество дрожжевой суспензии, кг/ч;  $c_T$  - содержание твердой фазы дрожжей в суспензии, %;  $\delta$  - толщина слоя осадка, м;  $W_{oc}$  - влажность осадка,  $W_{oc}$  %;  $\rho_\phi$  - плотность получаемого фильтрата, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_T$  - плотность твердой фазы дрожжей, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_\phi$  - динамический коэффициент вязкости фильтрата, Па·с;  $r_{oc}$  - удельное сопротивление осадка, м<sup>-2</sup>;  $R$  - сопротивление фильтровальной перегородки, м<sup>-1</sup>;  $\Delta P$  - перепад давления при фильтровании и промывке, Па;  $\mu_{пр}$  - динамический коэффициент вязкости фильтрата при промывке, Па·с;  $V_v$  - объемный расход воды на промывку 1 м<sup>3</sup> осадка, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

**Цель работы:** изучение конструкций и принципа работы вакуум – фильтра; определить количество сред и удельную производительность вакуум – фильтра за цикл; провести расчет продолжительности фильтрования; найти площадь поверхности фильтрования и степень погружения барабана в суспензию.

### Рекомендации для выполнения расчетной части *Методика расчета*

На рис. 1 представлена расчетная схема барабанного вакуум-фильтра.

*Определение количества сред и удельной производительности вакуум – фильтра за цикл.*

Количество твердой фазы, поступающей с суспензией  $G_T$ , кг/ч

$$G_T = \frac{G_c \cdot c_T}{100}, \quad (9.1)$$

где  $G_c$  – количество суспензии, кг/ч;  $c_T$  – содержание твердой фазы в суспензии, %.

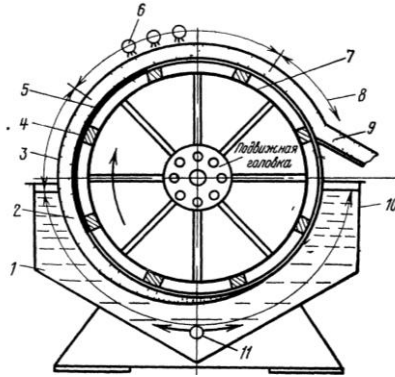


Рис. 1. Расчетная схема барабанного вакуум-фильтра:  
 1–зона фильтрации; 2 – осадок; 3 –зона просушки; 4 –сетка; 5 –  
 ткань; 6 – зона промывки; 7 –сплошной барабан; 5–зона продувки;  
 8 – зона съема осадка; 10 – корыто; 11 – мешалка

Количество плотной массы (осадка), получаемой из филь-  
 труемой суспензии  $G_{oc}$ , кг/ч,

$$G_{oc} = \frac{G_T}{(1 - (W_{oc} / 100))}, \quad (9.2)$$

где  $W_{oc}$  – влажность осадка, %;  $W_{oc} = 70$  %.

Количество получаемого фильтрата (отводимой жидко-  
 сти),  $G_{\phi}$ , кг/ч,

$$G_{\phi} = G_c - G_{oc} \quad (9.3)$$

Объем фильтрата  $V_{\phi}$ , м<sup>3</sup>/ч,

$$V_{\phi} = G_{\phi} / \rho_{\phi}, \quad (9.4)$$

где  $\rho_{\phi}$  –плотность получаемого фильтрата, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность отфильтрованной массы (осадка),  $\rho_{oc}$  кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_{oc} = \rho_T (1 - W_{oc}/100) + \rho_{\phi} (W_{oc}/100) \quad (9.5)$$

где  $\rho_T$  – плотность твердой фазы осадка, кг/м<sup>3</sup>.

Количество влажного осадка, приходящегося на 1 м<sup>3</sup> полу-  
 чаемого фильтрата,  $c_{oc}$ , м<sup>3</sup>/ м<sup>3</sup>,

$$c_{oc} = \frac{G_{oc}}{\rho_{oc} V_{\phi}} \quad (9.6)$$

Удельная производительность вакуум – фильтра за цикл  $V_{уд}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>,

$$V_{уд} = \frac{\delta}{c_{oc}} \quad (9.7)$$

где  $\delta$  – толщина слоя осадка, м.

*Расчет продолжительности фильтрования.*

Продолжительность фильтрования,  $\tau_{\phi}$ , ч

$$\tau_{\phi} = \frac{0,5\mu_{\phi} r_{oc} c_{oc} V_{уд}^2 + \mu_{\phi} R V_{уд}}{3600\Delta P}, \quad (9.8)$$

где  $\mu_{\phi}$  – динамический коэффициент вязкости фильтрата, Па·с;  $r_{oc}$  – удельное сопротивление осадка, м<sup>2</sup>;  $R$  – сопротивление фильтровальной перегородки, м<sup>-1</sup>;  $\Delta P$  – перепад давления при фильтровании и промывке, Па.

Удельное сопротивление осадка при промывке  $r_{пр}$ , м<sup>-2</sup>

$$r_{пр} = \frac{\mu_{пр} r_{oc}}{\mu_{\phi}}, \quad (9.9)$$

где  $\mu_{пр}$  – динамический коэффициент вязкости фильтрата при промывке, Па·с, ( $\mu_{пр}=0,005$  Па·с).

Продолжительность промывки  $\tau_{пр}$ , ч,

$$\tau_{пр} = \frac{V_{в} c_{oc} V_{уд} \mu_{\phi} (r_{пр} c_{oc} V_{уд} + R)}{3600\Delta P}, \quad (9.10)$$

где  $V_{в}$  – объемный расход воды на промывку 1 м<sup>3</sup> осадка м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

В соответствии с конструкцией барабанного вакуум-фильтра исходя из число секций в барабане  $m_c$ , из которых число секций в зоне фильтрования составляет  $m_{\phi}$  и число секций в зоне промывки  $m_{пр}$ , продолжительность полного цикла фильтрования составит  $T$ , ч,

$$T = \frac{(\tau_{\phi} + \tau_{\text{пр}})m_c}{(m_{\phi} + m_{\text{пр}})}. \quad (9.11)$$

*Определение площади поверхности фильтрования и степени погружения барабана в суспензию.*

Необходимая площадь поверхности фильтрования  $F$ , м<sup>2</sup>,

$$F = \frac{V_{\phi} T}{V_{\text{уд}}}. \quad (9.12)$$

Частота вращения барабана вакуум-фильтра  $n$ , ч<sup>-1</sup>,

$$n = \frac{1}{T}. \quad (9.13)$$

Степень погружения барабана в суспензию,  $\varphi$  %,

$$\varphi = \frac{\tau_{\phi}}{T} 100\%. \quad (9.14)$$

Т а б л и ц а 9.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер вари- анта	$G_c$ , кг/ч	$c_T$ , %	$\delta$ , м	$W_{oc}$ , %	$\rho_{\Phi}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_{\Phi}$ , Па·с	$r_{oc}$ , м <sup>-2</sup>	$R$ , м <sup>-1</sup>	$\Delta P$ , Па	$\mu_{пр}$ , Па·с	$V_B$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
1	4900	7,2	0,016	70	1140	635	0,006	$13,4 \cdot 10^{11}$	$11,65 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^5$	0,004	1,4
2	4400	7,5	0,02	65	1190	620	0,009	$13,3 \cdot 10^{11}$	$12,45 \cdot 10^9$	$0,5 \cdot 10^5$	0,005	1,5
3	4500	7,4	0,023	72	1130	640	0,007	$13,5 \cdot 10^{11}$	$11,95 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^5$	0,004	1,3
4	4900	7,3	0,019	69	1150	650	0,009	$13,2 \cdot 10^{11}$	$12,05 \cdot 10^9$	$0,5 \cdot 10^5$	0,003	1,4
5	4800	7,5	0,02	70	1100	600	0,008	$13,6 \cdot 10^{11}$	$11,35 \cdot 10^9$	$0,6 \cdot 10^5$	0,005	1,5
6	4900	7,6	0,025	75	1140	690	0,007	$13,9 \cdot 10^{11}$	$11,45 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^5$	0,004	1,6
7	4300	7,3	0,023	73	1180	675	0,009	$13,7 \cdot 10^{11}$	$12,35 \cdot 10^9$	$0,6 \cdot 10^5$	0,003	1,3
8	4600	7,2	0,02	69	1190	630	0,008	$13,4 \cdot 10^{11}$	$11,65 \cdot 10^9$	$0,5 \cdot 10^5$	0,005	1,5
9	4700	7,8	0,015	70	1100	600	0,006	$13,8 \cdot 10^{11}$	$11,35 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^5$	0,003	1,4
10	4500	7,9	0,029	75	1150	645	0,009	$13,9 \cdot 10^{11}$	$12,95 \cdot 10^9$	$0,6 \cdot 10^5$	0,005	1,6

## ЗАДАНИЕ № 10. РАСЧЕТ ЭКСТРУДЕРА

**Задача :** выполнить расчет экструдера, если заданы:  $\mu$  - динамическая вязкость продукта ( $\mu = 1,03 \cdot 10^{-6}$  Па·с);  $R, r$  - радиусы сечений отверстий в матрице, мм;  $L_1$  - длина канала в матрице, мм;  $\omega$  - угловая скорость вращения шнека, рад/с;  $S$  - шаг шнека, мм;  $D_k$  - диаметр внутренней поверхности корпуса, мм;  $\varphi$  - угол подъема винтовой линии шнека, град;  $H$  - высота шнекового канала, мм.

**Цель работы:** изучение теоретических основ процесса экструзии; знакомство с классификацией экструдеров, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета экструдера.

### Рекомендации для выполнения расчетной части Методика расчета

Расходно-напорная характеристика формующей части (головки)  $Q_\phi$ , м<sup>3</sup>/с [8],

$$Q_\phi = \frac{k_\phi}{\mu} \Delta p \cdot 10^{-9}, \quad (10.1)$$

где  $k_\phi$  - коэффициент геометрии формующего органа (матрицы).

Для кольцевого отверстия  $k_\phi$ , м<sup>3</sup> (рис. 2.28, а),

$$k_\phi = \frac{(\pi D + h) h^3 \cdot 10^{-9}}{12 L_1}, \quad (10.2)$$

где  $D$  - средний диаметр кольцевого отверстия  $D = 2R - h$ ;  $h$  - ширина кольцевого зазора  $h = R - r$ .

Для конического отверстия, м<sup>3</sup> (рис. 2.28, б) [8],

$$k_\phi = \frac{3\pi R^3 r^3 (R - r) \cdot 10^{-9}}{8 L_1 (R^3 - r^3)}. \quad (10.3)$$

Для суживающегося или расширяющегося мелкого (щелевого) канала  $k_\phi$ , м<sup>3</sup>,

$$k_\phi = \frac{B \cdot h_1^2 \cdot h_2^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{3(h_1^2 - h_2^2)}, \quad (10.4)$$

где  $B$  - ширина канала, м ( $B = 0,014$  м);  $\gamma$  - угол наклона стенки к осевой плоскости, град ( $\gamma = 45^\circ$ );  $h_1, h_2$  - высота крайних сечений, м.

Для канала произвольного постоянного по длине сечения (рис. 2.29) [8]

$$k_\phi = \frac{F}{2LP}, \quad (10.5)$$

где  $F$  - площадь сечения, м<sup>2</sup>;  $L$  - длина канала, м;  $P$  - периметр сечения, м.

$$k_\phi = \frac{BH^3}{12L} f, \quad (10.6)$$

где  $B$  и  $H$  - соответственно максимальный и минимальный размер сечения, м;  $f$  - характеристика потока, зависящая от формы и размеров сечения (принимается  $B = R$  и  $H = r$ ).

Скорость продукта вдоль винтового канала  $v_z$ , м/с,

$$v_z = \frac{\Delta p}{4\mu L_2} (R^2 - r^2), \quad (10.7)$$

где  $\Delta p$  - перепад давления, создаваемый экструдером, Па, рассчитываемый по формуле (10.12);  $R, r$  - радиусы сечений отверстий в матрице, м;  $\mu$  - динамическая вязкость продукта, Па·с ( $\mu = 1,03 \cdot 10^{-6}$  Па·с);  $L_2$  - длина шнекового канала, м.

Расходно-напорная характеристика нагнетающей части, м<sup>3</sup>/с,

$$Q_n = \left( k_{n1} \omega - \frac{k_{n2}}{\mu} \Delta p \right) 10^{-9}, \quad (10.8)$$

где  $k_{n1}$  и  $k_{n2}$  - коэффициенты геометрии шнекового нагнетателя, м<sup>3</sup>,

$$k_{n1} = 10^{-9} \pi D_\kappa \frac{BH}{2} \cos \varphi, \quad (10.9)$$

$$k_{n2} = 10^{-9} \frac{1}{12} \frac{BH^3}{L_2}, \quad (10.10)$$

где  $L_2$  - длина шнекового канала,

$$L_2 = 10^{-3} \sqrt{S^2 + [\pi(D_\kappa - H)]^2}, \quad (10.11)$$

здесь  $B = 14$  мм - ширина шнекового канала.

Перепад давления, создаваемый экструдером,  $\Delta p$ , Па,

$$\Delta p = \frac{k_{н1}}{k_{н1} + k_{\phi}} \mu \omega . \quad (10.12)$$

Производительность экструдера  $Q_э$ , м<sup>3</sup>/с,

$$Q_э = \frac{k_{н1} \cdot k_{\phi}}{k_{н1} + k_{\phi}} \omega . \quad (10.13)$$

Построить совмещенные расходно-напорные характеристики нагнетающего и формующего рабочих органов для анализа выбора пары нагнетатель - формующий орган.

По результатам анализа графических зависимостей  $Q_н = f(\Delta p)$  и  $Q_{\phi} = \varphi(\Delta p)$  (см. рис. 2.25) [8] определить величину оптимального перепада давления и соответствующей производительности экструдера.



Таблица 10.1

## Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$R$ , мм	$r$ , мм	$L_1$ , мм	Форма отверстий	$\omega$ , рад/с	$S$ , мм	$D_k$ , мм	$\varphi$	$H$ , мм	Марка экструдера
1	8,5	3,4	26	Эллиптическая	0,9	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	Б8-КХ-3П [23, с. 93]
2	8,4	3,0	29	Коническая	1,4	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	
3	8,0	3,1	26	Щелевая	1,1	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	
4	7,5	3,0	25	Прямоугольная	1,0	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	
5	9,0	3,5	25	Овальная	1,2	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	
6	9,0	3,0	28	Кольцевая	1,0	13	88	$19^{\circ}27'44''$	12,5	
7	9,0	3,7	28	Корытообразная	1,2	16	91	$18^{\circ}01'12''$	15,5	РЗ-КЭД-88 [23, с.94]
8	8,9	3,2	27	Кольцевая	1,3	16	91	$18^{\circ}01'12''$	15,5	
9	8,7	3,4	28	Щелевая	1,5	16	91	$18^{\circ}01'12''$	15,5	
10	8,2	3,1	26	Эллиптическая	1,1	16	91	$18^{\circ}01'12''$	15,5	

## Задание на контрольный вопрос теоретической части

Вариант по предпоследней цифре шифра	Контрольный вопрос теоретической части
1	Научное обеспечение процессов сортирования и обогащения сыпучих продуктов измельчения пищевых сред. Назначение и область применения. Классификация оборудования.
2	Дробильно-сортировочные машины. Назначение, классификация и область применения оборудования.
3	Научное обеспечение процесса разделения жидкообразных неоднородных пищевых сред. Назначение и область применения. Классификация оборудования.
4	Центрифуги и сепараторы. Назначение, принцип действия и классификация.
5	Фильтры и фильтрующие устройства. Назначение, принцип действия и классификация.
6	Мембранные модули и аппараты. Назначение, принцип действия и классификация.
7	Научное обеспечение процесса смешивания сыпучих, жидких, вязких компонентов пищевых сред. Назначение и область применения. Классификация оборудования.
8	Мешалки для жидких пищевых сред. Назначение, принцип действия и классификация.
9	Научное обеспечение процесса формирования пищевых сред. Методы экструзии, штампования, прессования. Назначение и область применения. Классификация оборудования.
0	Округлительные, закаточные и обкаточные машины. Назначение и область применения. Классификация оборудования. Конструкции и принцип действия машин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основной

1. Бутковский, В. А. Технологическое оборудование мукомольного производства [Текст] / В. А. Бутковский, Г. Е. Птушкина. – М.: Журнал хлебопродукты, 1999. – 208 с.
2. Машины и аппараты пищевых производств [Текст]: В 3 кн.: учеб. для вузов. Кн. 2 / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. – М.: КолосС, 2009. – 847 с.

### Дополнительный

3. Галицкий, Р. Р. Оборудование зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / Р. Р. Галицкий. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
4. Оборудование для производства муки и крупы [Текст]: справочник / А. Б. Демский, М. А. Борискин, Е. В. Тамаров, А. С. Чернолихов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Бутковский, В. А. Технология зерноперерабатывающих производств [Текст] / В. А. Бутковский, А. И. Мерко, Е. М. Мельников. – М.: Интеграф сервис, 1999. – 472 с.
6. Данилин, А. С. Совершенствование комбикормового оборудования промышленных предприятий [Текст] / А. С. Данилин, А.М. Братухин. – М.: Колос, 1982. – 212 с.
7. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / А. Б. Демский, М. А. Борискин, Е. В. Гомаров и др. – М.: Колос, 1989. – 383 с.
8. Остриков А.Н., Парфенопуло М.Г., Шевцов А.А. Практикум по курсу «Технологическое оборудование» / Воронеж.гос. технол. акад. – Воронеж, 1999. – 424 с.
9. Бредихин С.А. Технология и техника переработки молока [Текст] / С.А. Бредихин, Ю.В. Космодемьянский, В.Н. Юрин. – М.: Колос, 2001. – 400 с.
10. Сурков, В. Д. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности [Текст] / В.Д. Сурков, Н.Н. Липа-

тов, Ю.П. Золотин. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. – 432 с.

11. Технологическое оборудование хлебопекарных и макаронных предприятий [Текст] / Б. М. Азаров, А. Т. Лисовенко, Л. А. Буров и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 263 с.

12. Хромеенков. В. М.Буров, Л. А. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик [Текст]: учебник для студ. вузов / В. М. Хромеенков, Л. А. Буров. – СПб.: Гиорд, 2008. – 480 с.

13. Балашов, В. Е. Практикум по расчетам технологического оборудования предприятий бродильной промышленности [Текст] / В. Е. Балашов, И. Т. Кретов, С. Т. Антипов. – М.: Колос, 1992. –208 с.

14. Бредихин С.А. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств.[Текст] / С.А. Бредихин. – М.: КолосС, 2005. – 464 с.

15. Кретов, И. Т. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности [Текст]: учебник / И. Т. Кретов, С. Т. Антипов. – Воронеж: Изд – во государственного университета, 1997. –624 с.

16. Федоренко. Б. Н. Пивоваренная инженерия [Текст]: учебник для студ. вузов / Б. Н. Федоренко. – СПб.: Профессия, 2009. – 1000 с.

17. Драгилев А. И.. Сезанаев Я. Ю. Технологическое оборудование кондитерского производства [Текст] / Под ред. Н. В. Куркиной.-М.: Колос, 2000.-496с.

18. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть I. [Текст] / В.И. Ивашов. – М.: Колос, 2001. – 552 с.: ил.

19. Практикум по расчетам оборудования хлебопекарного и макаронного производств / М.Е. Чернов, В.М. Хроменков, Ю.А. Калошин и др.; Под ред. Ю.А. Калошина. - М.: Агропромиздат, 1991. - 16 с.

20. Чернов М.Е., Медведев Г.М., Негруб В.П. Справочник по макаронному производству.- М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. - 304 с.

Учебное издание

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Программа, методические указания и задания  
к контрольным работам

Для студентов, обучающихся по направлению  
151000 – «Технологические машины и оборудование»,  
профиль 151000.62 «Машины и аппараты пищевых производств»  
заочной формы обучения

Составители АНТИПОВ Сергей Тихонович,  
КАЛАШНИКОВ Геннадий Владиславович,  
ЛИТВИНОВ Евгений Викторович

Компьютерный набор и верстка Е.В. Литвинов

Подписан в печать .2013. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Ризография.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,5.

Тираж 100 экз. Заказ . С – 111 – 21 .

Воронежский государственный университет  
инженерных технологий (ВГУИТ)

Участок оперативной полиграфии ВГУИТ

Адрес академии и участка оперативной полиграфии:  
394000 Воронеж, пр. Революции, 19