

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Кафедра «Теоретическая механика и сопротивление материалов»**

## Технологическое оборудование

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 260601  
«Машины и аппараты пищевых производств»  
Часть 3

**Курган 2008**

Кафедра: «Теоретическая механика и сопротивление материалов»

Дисциплина: «Технологическое оборудование» (специальность 260601)

Составили: канд. техн. наук О.Л. Уманская

(лабораторные работы № 2,3,4)

канд. техн. наук, доцент С.Г. Тютрин

(лабораторная работа № 1)

Утверждены на заседании кафедры « 31 » \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2008 г.

Рекомендованы методическим советом

университета

« 5 » \_\_\_\_\_ 03 \_\_\_\_\_ 2008 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ

### Цель работы

1. Изучение моделей гидродинамических режимов.
2. Определение по экспериментальным данным модели потока и его структуры.
3. Определение среднего времени пребывания материала в аппарате, дисперсии времени пребывания материала в аппарате.

**Применяемые материалы и приспособления:** исследуемый аппарат, весы, секундомер, зерно окрашенное, сыпучий материал (зерно, крупа, семена подсолнечника).

### Основные теоретические положения

В химической технологии при расчетах, моделировании и оптимизации процессов исходят из анализа особенностей гидродинамической обстановки в аппарате.

Движение жидкости в трубопроводах, как известно, характеризуется неравномерным профилем скоростей в живом сечении потока. Так как частицы оси потока движутся быстрее, чем вблизи стенок, то время пребывания их в трубопроводе соответственно меньше. Характер распределения частиц потока по времени их пребывания усложняется в случае турбулентного течения из-за хаотического движения частиц, сложной формы их траекторий и пульсации скоростей. Структура потока особенно усложняется при движении материала в аппаратах, где на его пути встречаются различные препятствия в виде насадок распределительных устройств и т.п. Очевидно, слишком короткое время пребывания одних и чрезмерно продолжительное пребывание других частиц материала в рабочем объеме аппарата приводит к понижению степени химического превращения, протеканию нежелательных побочных реакций, к незавершенности осуществления физических процессов и уменьшению производительности аппаратов.

Теоретическое описание поля скоростей в производственных аппаратах практически невозможно. Для решения рассматриваемой задачи прибегают к опытному наложению распределения частиц потока материала по времени его пребывания в аппарате. С этой целью в поступающий поток материала вводят индикатор (окрашенные частицы, радиоактивные вещества и др.) и фиксируют во времени  $\tau$  его концентрацию в выходящем потоке. Получаемые при этом выходные кривые (или кривые отклика), характеризующие распределение частиц материала по времени их пребывания в аппарате, оказываются часто достаточными для технологических расчетов. Анализ и сопоставление выходных кривых с некоторыми физическими моделями дают приближенное представление о гидродинамической структуре потока в аппарате.

В зависимости от гидродинамического режима различают следующие основные типы аппаратов:

- идеального (полного) вытеснения – МИВ;
- идеального (полного) смешения – МИС;
- промежуточного типа (реального).

Рассмотри модели гидродинамических режимов.

*Модель идеального вытеснения* предполагает, что частицы жидкости (материала) во всех точках каждого живого сечения и во всех сечениях потока движутся параллельно друг другу с одинаковой скоростью  $v$ , не перемешиваясь, подобно твердому поршню. В этом случае время пребывания всех частиц в аппарате одинаково и постоянно. Легко видеть при этом, что индикатор, введенный в начальное сечение потока, по истечении времени целиком окажется в выходном сечении, сохранив свою начальную концентрацию (рис. 1.1). Если в аппарате с площадью поперечного сечения  $\omega$  и длиной  $l$  жидкость перемещается с постоянной скоростью, то  $\tau = l/v = \omega V_a / V_{ж}$ , т.е. время пребывания всех частиц жидкости в аппарате равно отношению его рабочего объема  $V_a$  к объемному расходу жидкости  $V_{ж}$ .

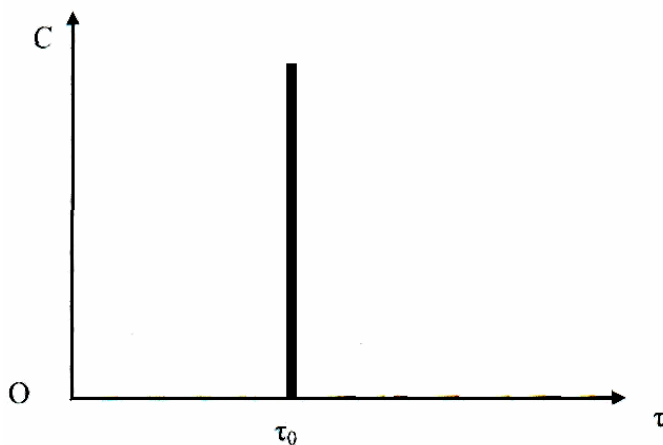


Рис. 1.1. Кривая отклика в аппаратах МИВ

К рассматриваемой модели приближается структура потока в аппаратах, выполненных из длинных труб небольшого диаметра, заполненных какой-либо зернистой насадкой (катализатором, сорбентом).

*Модель идеального перемешивания* предполагает постоянство состава смеси во всех точках рабочего объема аппарата; следовательно, такой же состав будет иметь жидкость на выходе из аппарата. Допустим, что в рабочем объеме аппарата  $V_a$  будет уносить за время  $d\tau$  количество индикатора  $V_{ж} c d\tau$ , равное уменьшению его количества в рабочем объеме аппарата -  $V_a dc$ , т.е.

$$V_{\text{ж}} c d\tau = -V_{\text{а}} dc; dc/c = - (V_{\text{ж}}/V_{\text{а}}) d\tau = -d\tau/\tau_{\text{ср}},$$

где  $V_{\text{а}}/V_{\text{ж}} = \tau_{\text{ср}}$  – среднее время пребывания материала в аппарате.

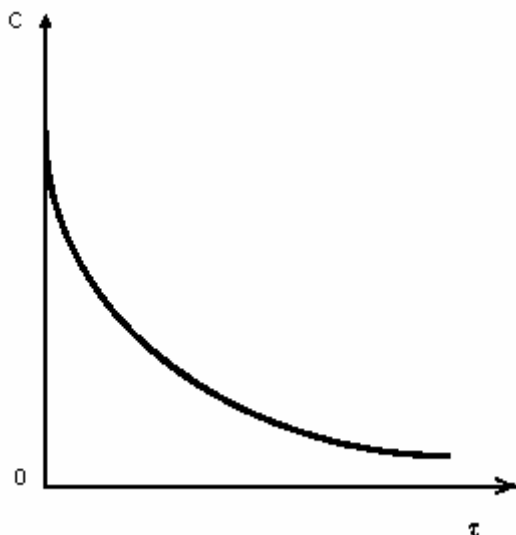


Рис. 1.2. Кривая отклика в аппаратах МИС

Интегрируя последнее уравнение в пределах от  $c_{\text{н}}$  до концентрации  $c_{\tau}$  в произвольный момент времени  $\tau$  и от 0 до  $\tau$ , получают  $c_{\tau} = c_{\text{н}} \exp(-\tau/\tau_{\text{ср}})$ .

Уравнение позволяет найти концентрацию индикатора  $c_{\tau}$  по истечении любого отрезка времени  $\tau$ , а следовательно, относительное количество индикатора, вынесенное из аппарата потоком жидкости за время  $\tau$ . Это уравнение показывает также, что полное вымывание индикатора из рабочего аппарата невозможно, поскольку  $\tau = \infty$  при  $c_{\tau} = 0$ . Таким образом, при идеальном перемешивании одна часть индикатора остается в аппарате больше, а другая – меньше времени пребывания ( $\tau_{\text{ср}}$ ). Выходная кривая для рассматриваемой модели показана на рис. 1.2.

#### *Модель промежуточного типа*

Структура потоков в реальных аппаратах редко соответствует рассмотренным моделям, так как поступательное движение материала обычно сопровождается его частичным перемешиванием в поперечном и продольном направлениях. Выходная кривая имеет в общем случае вид, показанный на рис. 1.3. Индикатор, импульсно введенный при входе потока, появляется на выходе из аппарата лишь по истечении некоторого времени  $\tau_0$ . В дальнейшем выходная концентрация индикатора возрастает до некоторой максимальной величины  $c_{\text{max}}$  после чего падает, асимптотически приближаясь к нулю при  $\tau \rightarrow \infty$ . Заметим, что площадь под кривой  $c=f(\tau)$ , ограниченная двумя какими-

либо координатами  $\int_{\tau_1}^{\tau_2} cd \Theta$ , выражает относительное количество индикатора, вынесенное из аппарата потоком материала на протяжении времени  $\tau_2 - \tau_1$ , а вся площадь под кривой  $\int_0^{\infty} cd \Theta = 1$ , где  $\Theta = \tau / \tau_{\text{ср}}$ .

На основании заданных условий протекания процесса в аппарате конкретного типа для него подбирают типовую модель, характеризуемую определенной структурой потока вещества в перемешиваемом объеме.

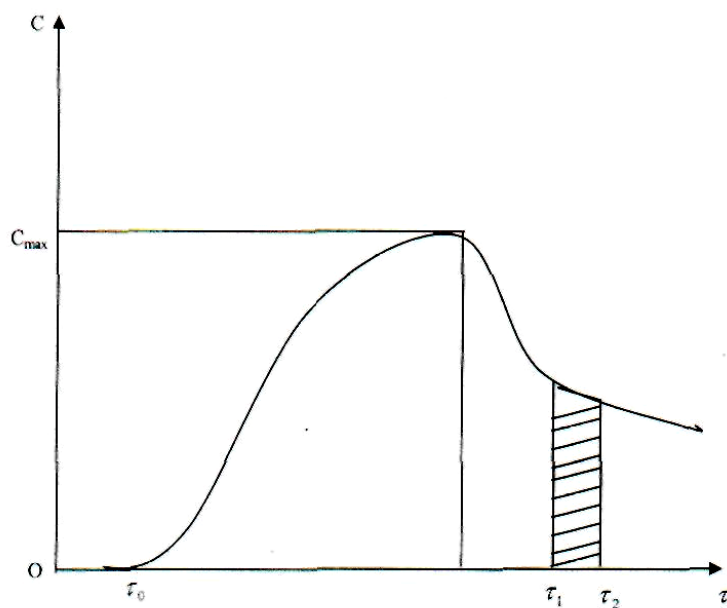


Рис. 1.3. Кривая отклика в аппаратах реального типа

### Порядок выполнения работы

1. Приготовьте порцию материала, например, 1 кг зерна. Из емкости с окрашенными зернами отсчитывают 100 зерен. Перемешивают окрашенные зерна, которые служат индикатором, с приготовленным материалом.

2. Засыпают всю порцию в загрузочное отверстие, включают аппарат и замечают время – начало опыта.

3. Через некоторый промежуток времени часть материала появляется в загрузочном отверстии; отмечают это время  $\tau_0$ . С этого момента каждые 2-3 секунды собирают выгружаемое из сушилки зерно в приготовленные заранее емкости, меняя их.

4. Отбирают окрашенные зерна из емкостей, пересчитывая их количество.

5. Определение минимального и максимального времени пребывания материала в сушилке, а также рассчитывают среднее время пребывания:

$$\tau_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^n \tau_i c_i / \sum_{i=1}^n c_i$$

6. Рассчитывают дисперсию (разброс) времени пребывания материала в аппарате:

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n \tau_i^2 c_i / \sum_{i=1}^n c_i - [\sum_{i=1}^n \tau_i c_i / \sum_{i=1}^n c_i]^2$$

### Отчет по работе

1. Название и цель работы.
2. По данным наблюдений постройте график зависимости  $c = f(\tau)$ .
3. Сравните полученный график с графиками моделей структуры потоков рис. 1.1, 1.2 или 1.3, сделайте вывод о гидродинамической структуре потока в аппарате.
4. Результаты опыта занесите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Номер опыта	Длительность опыта, с	Количество окрашенных зерен, шт.	Величины	
			$c\tau$	$\tau^2 c$
$i$	$\tau$	$c$		
	2 4...			

$$n \qquad \sum_{i=1}^n \tau \qquad \sum_{i=1}^n c \qquad \sum_{i=1}^n c\tau \qquad \sum_{i=1}^n \tau^2 c$$

5. Результаты расчета среднего времени пребывания материала в аппарате.
6. Результаты расчета дисперсии времени, пребывания материала в аппарате.
7. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируют химические аппараты в зависимости от гидродинамического режима их работы?
2. Что такое аппарат идеального смешения?
3. Объясните понятия «время пребывания», «среднее время пребывания», «распределение времени пребывания» и различия между ними.
4. Что такое кривая отклика системы?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОТИРОЧНОЙ МАШИНЫ МП – 800

### Цель работы

1. Изучение конструкции и принципа действия протирочной машины.
2. Приобретение навыков эксплуатации протирочной машины.
3. Обоснование режима работы протирочных машин.
4. Определение производительности протирочной машины и мощности электродвигателя.
5. Обработка результатов испытаний.

**Применяемые приборы и материалы:** машина протирочная МП-800, штангенциркуль.

### Основные теоретические положения

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

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

Протирочные машины классифицируются по следующим признакам: по числу барабанов – одинарные, сдвоенные и строенные; по принципу действия – бичевые и безбичевые; по форме барабанов – с цилиндрическим или коническим барабаном; по назначению – для семечковых плодов, для косточковых плодов и универсальные; по способу регулирования производительности – с изменяющимся углом опережения бичей, изменяющимся зазором между бичами и барабаном, изменяющейся частотой вращения ротора.

Для протирания овощей, творога и других продуктов используют протирочную машину МП – 800. Машина (рис.2.1) состоит из каркаса, реверсивного электродвигателя с клиноременной передачей и корпуса. Приводной вал с лопастным ротором расположен в корпусе. Загрузочный бункер крепится к корпусу двумя откидными болтами. Верхняя конусная часть бункера служит приемной воронкой, нижняя цилиндрическая – рабочей камерой. На стенке бункера имеется люк для выброса отходов, легко открывающийся и закрывающийся эксцентриковым зажимом. На приводном валу крепятся сменные роторы. Сменные решетки (или терочный диск) неподвижны. Регулирование зазора между решетками и ротором осуществляется промежуточным стаканом, который надевается на вал и фиксируется винтом. На этом же стакане



ниже решетки (сита) укреплен сбрасыватель, служащий для выбрасывания протертого продукта из корпуса в выходной лоток.

Ротор для протирания косточковых плодов состоит из двух частей. Нижняя часть его – ступица с упругими пальцами – служит для протирания продуктов, верхняя часть – выбрасыватель – для удаления отходов; выбрасыватель может свободно проворачиваться относительно ступицы.

На каркасе крепится подставка, на которую ставится приемная емкость для протертого продукта, и пусковая защитная электроаппаратура: выключатель, блокирующий включение двигателя при отсутствии бункера, а также кнопки «Пуск», «Стоп» и «Отходы».

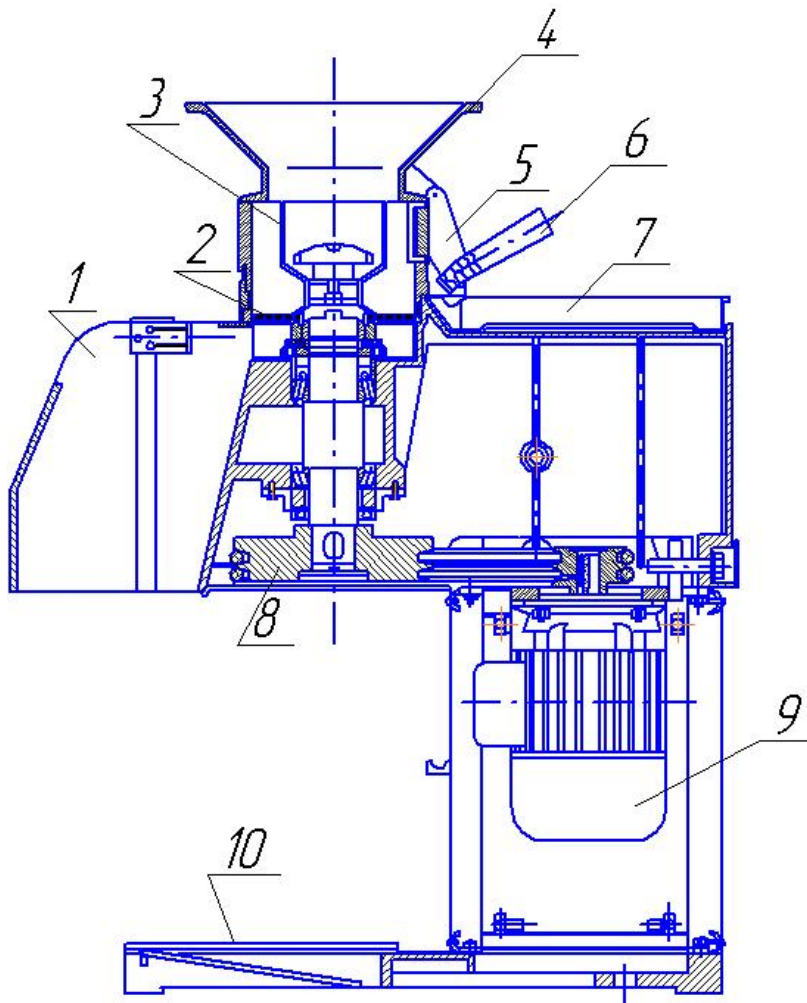


Рис. 2.1. Протирочная машина МП-800: 1-лоток; 2-решетка; 3-лопастной ротор; 4-загрузочный бункер; 5-лоток для отходов; 6-ручка с эксцентриковым зажимом; 7-емкость для сбора отходов; 8-клиноременная передача; 9-электродвигатель; 10-подставка

Угол наклона лопастей ротора таков, что при вращении их по часовой стрелке продукт протирается, а при вращении против часовой стрелки непротертые остатки продукта перемещаются вверх, к люку для удаления отходов.

От привода вращение передается лопастному ротору. При вращении ротора по часовой стрелке продукт захватывается его лопастями, продвигается по сити, разрезается и продавливается через его отверстия. Готовый продукт сбрасывателем удаляется в приемную емкость. При вращении ротора против часовой стрелки выбрасыватель удаляет косточки и прочие отходы через люк в приемную емкость; крышка люка при этом должна быть открыта. В зависимости от протираемого продукта рекомендуется следующее сочетание рабочих органов: ротор лопастей и сито с отверстиями 3мм – для картофеля, бобовых, отварных овощей и круп, рыбы; ротор лопастной и сито с отверстиями 1,5мм – для отварной печени и свинины.

#### *Подготовка к работе*

Работу на машине осуществляют следующим образом. Продукт загружают в бункер машины при равномерно вращающемся роторе, где он протирается через сито и сбрасывателем выбрасывается из машины в приемную емкость, установленную на подставке. После прекращения выхода готового продукта нажимают кнопку «Стоп». Затем открывают откидную крышку выходного лотка и с помощью лопатки полностью удаляют протертый продукт. При протирании продуктов с большим количеством отходов последние периодически удаляют из рабочей камеры машины. Для этого останавливают машину нажатием кнопки «Стоп», а затем нажатием кнопки «Отходы» включают реверс двигателя, освобождают рукояткой эксцентриковый зажим, открывают крышку люка и держат ее в таком положении до окончания выхода отходов в емкость. Затем закрывают крышку люка и запирают ее эксцентриковым зажимом. После этого, нажав кнопку «Стоп», а затем кнопку «Протирка», продолжают обрабатывать следующую порцию продуктов. По окончании работы машину отключают от сети и снимают рабочие органы для санитарной обработки. Косточковые плоды загружают в бункер машины порциями по 1,5 – 2кг.

#### *Обоснование режима работы протирочных машин*

Основное влияние на качество протертой массы оказывают лопасти, которые для протирочных машин изготавливаются в виде двухзаходного или однозаходного винта, валков, бил и др.

Такое многообразие конструкций рабочих органов протирочных машин свидетельствует о том, что до сих пор еще не выбрана наилучшая форма, которая обеспечила бы требуемое качество пюреобразной массы.

Если лопасти оказывают незначительное воздействие на продукт, подвергая его минимальному давлению в плоскости расположения сита, продукт измельчается кромками сита без значительной деформации и сжатия, благодаря чему обеспечивается высокое качество протертой массы. По такому принципу работают валки и фигурные лопасти.

Анализ скоростей, воздействующих на продукт, показал, что качество пюре получается хорошим в том случае, если скорость продавливания продукта через отверстия немного больше или равна скорости продвижения продукта по сити.

Скорость воздействия на продукт изменяется в зависимости от угла наклона и частоты вращения лопасти (табл.2.1).

Таблица 2.1

Скорость продавливания продукта м/с через отверстия сита в зависимости от угла наклона лопасти к сити и частоты ее вращения

Угол наклона лопасти, град	Частота вращения лопасти, об / мин					
	170	240	300	400	450	465
23	0,018	-	-	-	-	-
30	0,025	0,028	0,032	0,035	0,045	-
35	0,032	0,041	0,047	0,058	0,068	-
40	0,037	0,045	0,052	0,063	0,072	0,073
45	0,021	0,030	0,033	0,035	0,023	-

### Порядок выполнения работы

1. Определите диаметр отверстий и количество отверстий на решетке протирочной машины МП-800.

2. Определение производительности  $Q_{кг/ч}$ . Производительность протирочных машин с учетом скорости продавливания продукта может быть определена по формуле

$$Q = F_0 \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi,$$

где  $F_0 = (\pi d^2 z) / 4$  - площадь отверстий сита,  $m^2$ ;  $d$  - диаметр отверстий сита,  $m$ ;  $z$  - количество отверстий;  $v$  - скорость продавливания продукта через отверстия сита,  $m/c$  (см. табл 1.);  $\rho$  - насыпная масса продукта =  $700 \text{ кг}/m^3$ ;  $\varphi$  - коэффициент, учитывающий заполнение сита продуктом ( $\varphi = 0,6-0,7$ ).

3. Определение мощности электродвигателя протирочной машины.

$$N = (N_1 + N_2) / \eta,$$

где  $N_1$  - мощность, необходимая для измельчения продукта крошками сита,  $Вт$ ;  $N_2$  - мощность, необходимая для продавливания продукта через отверстия сита,  $Вт$ ;  $\eta$  - КПД передаточного механизма,  $\eta = 0,96$ .

$$N_1 = q \cdot \sum l \cdot K_{и} \cdot v_0 \cdot z_1 \cdot \varphi \cdot K_{пр},$$

где  $q$  – удельное сопротивление измельчения продукта на единицу длины кромок отверстия сита, Н·м;  $q = 150\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $\sum l$  – общая длина кромок отверстий сита,  $\sum l = \pi \cdot dz$ ;  $K_{и}$  – коэффициент использования длины кромок отверстий сита,  $K_{и} = 0,3$ ;  $z_1$  – количество лопастей,  $z_1 = 2$ ;  $v_0$  – окружная скорость лопасти, м/с,  $v_0 = w \cdot r_{cp}$ ;  $r_{cp}$  – средний радиус лопасти,  $r_{cp} = 0,075$  м,  $w = (\pi \cdot n)/30$ , где  $n$  – число оборотов в минуту (определяется при помощи тахометра);  $K_{пр}$  – коэффициент проскальзывания продукта,  $K_{пр} = 0,4 - 0,5$ .

$$N_2 = B \cdot F_0 \cdot v \cdot L \cdot \varphi,$$

где  $B$  – удельное сопротивление продукта при продавливании через отверстия сита, Па;  $B = 32$  кПа;  $v$  – скорость продавливания продукта через отверстия сита, м/с (табл.);  $\varphi$  – коэффициент использования площади отверстий,  $\varphi = 0,6$ ;  $L = 0,2$  м.

Мощность, необходимая на преодоление сил трения, не рассчитывается, так как удельные сопротивления измельчению и продавливанию получены экспериментальным путем и включают трение.

### **Отчет по работе**

1. Название и цель работы.
2. Результаты расчета производительности.
3. Результаты расчета мощности электродвигателя протирочной машины.
4. Схема протирочной машины.
5. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего используют протирочные машины?
2. Какой процесс называется протиранием?
3. Как классифицируются протирочные машины?
4. В чем состоит принцип протирания продуктов в протирочных машинах?
5. Какие вы знаете конструкции рабочих органов протирочных машин?
6. Какие факторы оказывают влияние на качество протертой массы?
7. Какие факторы влияют на производительность и эффективность работы протирочных машин?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРИФУГИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

### Цель работы

1. Изучение устройства и принципа работы центрифуги периодического действия.
2. Усвоение правил безопасной эксплуатации и наладки центрифуги.
3. Обработка результатов испытаний.

**Применяемые инструменты и оборудование:** центрифуга лабораторная медицинская, штангенциркуль, линейка, весы технические, тахометр, секундомер, влагомер.

### Основные теоретические положения

Одним из наиболее эффективных способов разделения жидких неоднородных систем, применяемых в пищевой промышленности, является центрифугирование, осуществляемое на специальных машинах – центрифугах. По принципу действия и технологическому назначению центрифуги делятся на отстойные и фильтрующие. Фильтрующие центрифуги предназначены для разделения грубодисперсных сред и отделения от сыпучих не растворяющихся материалов и продуктов.

Основной частью обоих типов центрифуг является вращающийся ротор, куда загружают суспензию. При вращении ротора возникает центробежная сила, действующая на суспензию массой  $m$  и весом  $G$ :

$$C = mv^2 / R = Gv^2 / gR \approx Gn^2 R / 900,$$

где  $R$ - радиус ротора, м;  $n$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ .

Одним из критериев оценки работы центрифуги служит фактор разделения, который является соотношением ускорения центробежной силы ( $v^2/R$ ) и ускорения свободного падения ( $g$ ):

$$\Phi = v^2 / gR,$$

где  $v$  – окружная скорость барабана, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $R$  – радиус барабана, м.

Чем выше фактор разделения, тем интенсивнее протекает процесс центрифугирования. Продолжительность разделения можно найти по выражению

$$v_0 = dR / d\tau.$$

Так как при  $Re < 0,2$

$$v_0 = \left[ d^2(\rho_1 - \rho_2)v^2 \right] / 18\mu R,$$

то, подставив вместо  $v$  ее выражение  $\omega R$  (где  $\omega = \pi n / 30$  - угловая скорость барабана) и проинтегрировав

$$\int_0^{\tau} d\tau = \frac{18\mu}{d^2(\rho_1 - \rho_2)\omega^2} \int_r^R \frac{dR}{R},$$

получим расчетную формулу

$$\tau_0 = \frac{18\mu}{d^2(\rho_1 - \rho_2)\omega^2} \ln \frac{R}{r}.$$

Считая, что продолжительность пребывания жидкости в барабане должна быть равна времени осаждения частиц, можно принять, что за время  $\tau_0$  жидкость проходит путь  $h$ , равный высоте барабана со скоростью (в м/с):

$$v_{cp} = V_{сек} / \pi(R^2 - r^2),$$

где  $V_{сек}$  – секундный расход материала, м<sup>3</sup>/с;  $R$  – радиус барабана, м;  $r$  – радиус слоя материала в центрифуге, м.

Соотношение между  $R$  и  $r$  определяется степенью загрузки барабана; обычно барабан загружается на половину емкости и  $r \approx 0,71R$ . Следовательно, экспериментально продолжительность осаждения в центрифуге (в с)

$$\tau_0 = h / v_{cp} = \left[ \pi(R^2 - r^2)h \right] / V_{сек}.$$

Зависимость между продолжительностью разделения, полученной экспериментально ( $\tau_{эксн}$ ), можно выразить так:

$$\tau_{эксн} = \varphi \tau_{расч},$$

где  $\varphi$  - поправка на форму частиц\* и другие неучтенные факторы (например, зависимость вязкости от температуры и др.)

## *1. Назначение центрифуги*

1.1. Центрифуга лабораторная медицинская Опн-8 (в дальнейшем центрифуга) является центрифугой лабораторной периодического действия, обычной, переносной с частотой вращения до 8000 об/мин ( $133,3 \text{ с}^{-1}$ ), применяемой для разделения неоднородных жидких систем в поле центробежных сил.

1.2. Центрифуга предназначена для использования в практике клинической лабораторной диагностики и проведения исследований в области медицины и других областях.

1.3. Центрифуга обеспечивает центрифугирование жидких систем плотностью не более  $2 \text{ г/см}^3$ ; при работе со стеклянными пробирками – жидких систем плотностью не более  $1,5 \text{ г/см}^3$ .

1.4. Условия эксплуатации центрифуги:

- температура окружающего воздуха от  $+10$  до  $+35^\circ\text{C}$  (283 до 308 К);
- верхнее значение относительной влажности воздуха 80% при  $+25^\circ\text{C}$  (298 К).

1.5. Климатическое исполнение центрифуги УХЛ4.2.

## *2. Устройство и принцип работы*

2.1. Устройство.

2.2. На корпусе центрифуги смонтированы привод, пульт управления и основание.

2.3. Привод центрифуги состоит из электродвигателя, корпусного вала, датчика частоты вращения и обратной связи. Привод соединен с кожухом при помощи амортизирующих элементов.

2.4. Пульт управления состоит из переключателя-задатчика частоты вращения, управляемого ручкой, механизма автоматического задания продолжительности работы центрифуги, управляемого ручкой, выключателя цепи питания центрифуги и выключателя часового механизма.

2.5. На основании центрифуги смонтированы элементы электронной схемы управления частотой вращения и панель предохранителей.

2.6. В рабочей камере на корпусный вал устанавливается ротор. Рабочая камера центрифуги закрывается прозрачной крышкой.

## *3. Указания мер безопасности*

3.1. Центрифуга по электробезопасности соответствует классу 01 ГОСТ 12.2.025-76.

3.2. Категорически запрещается:

- а) работать на оборотах, превышающих максимальное значение для данной центрифуги;
- б) при работе со стеклянными пробирками устанавливать частоту вращения ротора свыше 2000 об/мин ( $33,2 \text{ с}^{-1}$ );
- в) работать с открытой крышкой центрифуги при вращающемся роторе;
- г) открывать крышку центрифуги до полной остановки ротора;
- д) загружать ротор центрифугатом, объем которого превышает значения, указанные в паспорте на определенный тип ротора;

- е) работать с разностью масс диаметрально противоположных пробирок, заполненных центрифугатом, более 0,5 г;
- ж) применять нестандартные пробирки;
- з) работать без заземления, работать с гайкой, предназначенной для стопорения привода при транспортировании;

### 3.3. Заземление центрифуги.

3.3.1. Перед началом эксплуатации центрифуга должна быть подсоединена к внешней заземляющей проводке заземляющим устройством, входящим в комплект поставки.

3.3.2. При заземлении все соединения с внешней заземляющей проводкой должны быть сварными или болтовыми.

3.3.3. Последовательное заземление центрифуги с заземлением других аппаратов недопустимо.

## 4. Подготовка центрифуги к работе

4.1. Установить центрифугу на ровную горизонтальную плоскость.

4.2. Установить крышку на центрифугу:  
вынуть оси и пружины, упакованные с ЗИПом;  
установить пружины в отверстия осей;  
вставить оси в крышку, пружиной в отверстие;  
сжать пружины;  
установить крышку осями в отверстия кожуха.

4.3. Плотно насадить ротор на вал привода.

4.4. Установить пробирки, заполненные центрифугатом, в гнезда ротора или капилляры в роторе-гематокрите. Стеклообразные пробирки устанавливать в роторе с амортизатором под каждую пробирку.

Примечание. При неполной загрузке центрифуги каждую пару наполненных пробирок размещать в диаметрально противоположных гнездах ротора.

4.5. Закрепить ротор на валу привода при помощи крышки или специальной гайки.

4.6. Закрыть крышку центрифуги.

4.7. Подключить сетевой шнур центрифуги к сети переменного тока.

## 5. Порядок работы

5.1. При работе центрифуги с часами.

5.2. Установить ручкой задатчика механизма отсчета времени (в дальнейшем - часы) требуемое время центрифугирования с учетом времени разгона.

5.3. Выключатель часов установить в положение «включено», при этом на клавише должна быть видна красная точка.

5.4. Установить задатчиком частоты вращения ротора требуемое число оборотов.

5.5. Выключатель цепи питания установить в положение «включено», при этом на клавише должна быть видна красная точка.



Ротор автоматически достигнет заданной частоты вращения и будет работать на этой частоте заданное время.

5.6. После истечения заданного времени автоматически отключается напряжение питания электродвигателя, и ротор начнет останавливаться.

5.7. Выключатель цепи питания установить в положение отключено.

5.8. После полной остановки ротора открыть крышку центрифуги, снять крышку ротора и вынуть пробирки.

### Порядок выполнения работы

1. Взять смесь (варенец, йогурт). Массу смеси определить на технических весах.

2. Исходную смесь загружают в пробирки и устанавливают в ротор центрифуги, во избежание биения ротора пробирки располагают диаметрально противоположно.

3. Включают электродвигатель центрифуги, устанавливают заданную частоту вращения ротора (8000 об/мин), по достижении которой начинают отсчет длительности фугировки.

4. После полной остановки ротора вынимают пробирки.

5. На технических весах взвешивают осадок.

6. Определяют влажность осадка.

7. Полный объем пробирок (в м<sup>3</sup>)

$$V_{\sigma} = ((\pi D^2 / 4)h + \frac{\pi D^3}{12}) \cdot z,$$

где D – внутренний диаметр пробирки, м; h – высота пробирки, м; z – число пробирок.

8. Рабочий объем пробирок (в м<sup>3</sup>)

$$V_{\sigma} = ((\pi D^2 / 4)h_1 + \frac{\pi D^3}{12}) \cdot z,$$

где h<sub>1</sub> – высота смеси в пробирке, м.

9. Коэффициент наполнения центрифуги

$$K = V_p / V_{\sigma},$$

10. Фактор разделения

$$\Phi = n^2 R / 900 \cdot z,$$

где  $n$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $R = D/2$  – внутренний радиус пробирки, м.

11. Площадь поверхности осаждения (в  $\text{м}^2$ )

$$F = \pi D h + \frac{\pi D^2}{2}.$$

12. Определение средней скорости разделения за отрезок времени  $\Delta \tau$  между замерами определяют как

$$v_p = \Delta V' / (F \Delta \tau),$$

где  $\Delta V'$  – объем фильтрата за отрезок времени  $\Delta \tau$ .

13. Определение производительности центрифуги

а) по осадку  $Q_{oc}$

$$Q_{oc} = m_{oc} / t,$$

б) по фугату  $Q_{\phi}$

$$Q_{\phi} = (m_{cm} - m_{oc}) / t,$$

где  $m_{oc}$  – масса осадка, получаемого за один цикл работы центрифуги, кг;

$m_{cm}$  – масса смеси, загружаемой в центрифугу за один цикл, кг;

$t$  – длительность цикла находят экспериментально, он состоит из загрузки центрифуги смесью разгона, фугировки, остановки, выгрузки осадка, сек.

### Отчет по работе

1. Название и цель работы.
2. Результаты расчета фактора разделения.
3. Результаты расчета средней скорости разделения.
4. Определение производительности центрифуги.
5. Результаты замеров и расчетов записывают в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Номер опыта	Длительность фугировки, с	Длительность цикла, с	Частота вращения ротора, об/мин	Фактор разделения	Масса осадка, г	Влажность осадка, %	Производительность центрифуги по осадку	Производительность центрифуги по фугату

### Контрольные вопросы

1. Что называется процессом центрифугирования?
2. Какие типы и конструкции центрифуг применяются в пищевой промышленности и каков принцип их действия?
3. Какие параметры характеризуют работу центрифуг?
4. Что характеризует фактор разделения?
5. Какие параметры влияют на величину фактора разделения?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 АНАЛИЗ РАБОТЫ ФРИТЮРНИЦЫ

### Цель работы

1. Изучение устройства, принципа действия и технологического назначения фритюрницы ФЭСМ- 20.
2. Усвоение правил безопасной эксплуатации фритюрницы.
3. Экспериментально определить технические показатели фритюрницы периодического действия.

**Применяемые инструменты и оборудование:** фритюрница электрическая секционная модулированная ФЭСМ-20, штангенциркуль, линейка, весы, секундомер, градусник, термометр ЭТП-М.

### Основные теоретические положения

Фритюрницы являются специализированными тепловыми аппаратами, реализующими процесс жарки пищевых продуктов. В данной работе исследуется работа фритюрниц периодического действия электрическая секционная модулированная ФЭСМ – 20 (рис.4.1).

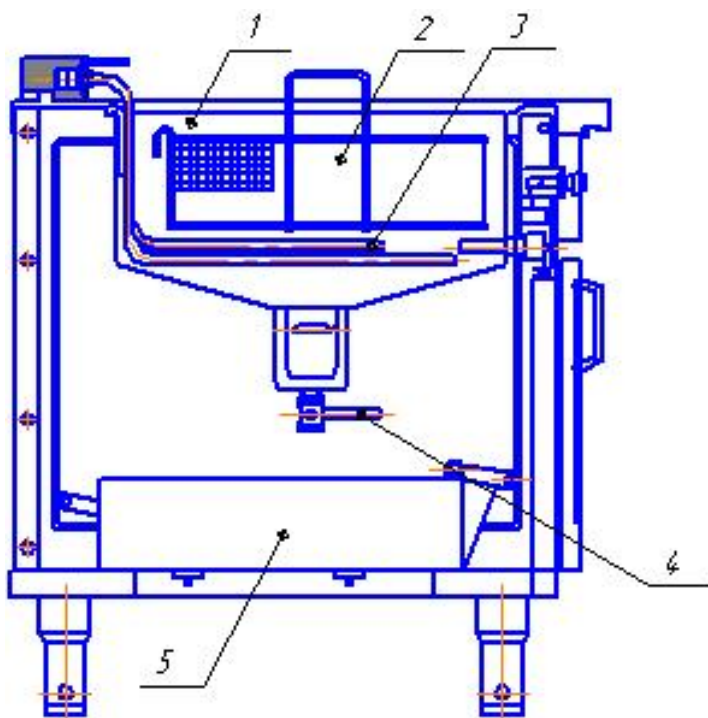


Рис. 4.1. Фритюрница электрическая секционная модулированная ФЭСМ – 20: 1- ванна; 2- корзина; 3- тэн; 4- кран; 5- бачок

Конструкция фритюрницы бескаркасная: к сварной раме, установленной на регулируемых по высоте ножках, крепятся стальные, покрытые белой эмалью облицовки, на которые сверху устанавливается стол с вваренной в него жарочной ванной. Стол и ванна изготовлены из нержавеющей стали.

К дну ванны приварен отстойник. Отстойник имеет патрубок с краном для слива масла из ванны в бачок и съемный стакан с сеткой для фильтрации масла.

Нагрев залитого в ванну масла осуществляется тэнами, которые закреплены в установленном на столе тэнодержателе. Конструкция тэнодержателя дает возможность поднимать тэны и вынимать их из ванны во время санитарной обработки, осмотра и ремонта фритюрницы.

Автоматическое регулирование температуры масла осуществляется с помощью температурных реле, которые закреплены во втулках, приваренных к ванне с внешней стороны.

Жаренье продуктов производится в сетчатой корзине из нержавеющей стали, погружаемой в жарочную ванну с горячим маслом.

#### Техническая характеристика фритюрницы ФЭСМ-20

Производительность по сырому картофелю, кг/ч	12
Единовременная загрузка, кг	1
Количество масла, заливаемого в жарочную ванну, дм <sup>3</sup>	20
Мощность, кВт	7,5
Ток	Переменный Трехфазный
Напряжение, В	220 или 380/220
Рабочая температура масла в жарочной ванне, °С	от 170 до 180
Время разогрева масла от 18 до 180°С, мин	20
Габариты, мм:	
Длина	420
Ширина	840
Высота	930
Высота до рабочей поверхности стола, мм	860
Масса, кг	90

Процесс жарки пищевых продуктов во фритюрницах происходит в большом количестве пищевого жира, нагретого до температуры 160...180°С. Недостатком работы фритюрницы является то, что частички, отделяющиеся от пищевого продукта, надолго остаются в рабочей камере и способствуют интенсификации окислительных процессов, которые ускоряют термическое разложение фритюра. По этой причине конструктивные решения фритюрниц периодического действия обеспечивают сбор провалившихся частичек пищевого продукта в специальном объеме с пониженной температурой – холодной

зоне. Стенки этой зоны представляют собой наклонные плоскости, направляющие частички пищи в специальный отстойник. Принцип устройства рабочей камеры фритюрниц периодического действия показан на рис.4.2. Теплогенерирующие элементы (тэны, газовые горелки) обогревают верхнюю часть рабочего объема камеры фритюрницы. В нижней части пищевой жир прогревается только за счет теплопроводности и охлаждается за счет теплообмена стенок с окружающей средой, что в итоге и обеспечивает снижение температуры пищевого жира, продлевая срок его службы.

Наибольшее количество фритюрниц, находящихся в эксплуатации, имеет электрический нагрев. К основным техническим показателям их работы относятся: объем ванны  $V_{\text{ф}}$ ; мощность нагревателя  $P$ ; время разогрева  $\tau_{\text{р}}$ ; температура фритюра  $t_{\text{ф}}$ ; температурный перепад в рабочем объеме  $\Delta t_{\text{max}}$ . Последний показатель предопределяет степень одновременной обработки пищевых продуктов в различных точках фритюра и в итоге влияет на качество изделий.

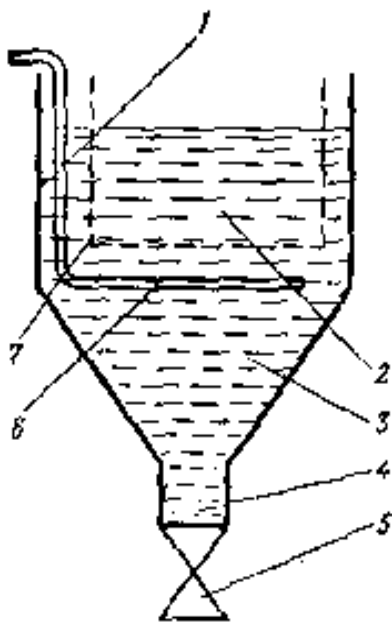


Рис. 4.2. Принципиальная схема устройства рабочей камеры фритюрницы периодического действия: 1-рабочая камера; 2-фритюр (горячая зона); 3-холодная зона; 4-отстойник; 5-сливной кран; 6-тэны; 7-сетка корзины

Для фритюрниц, как для любых аппаратов периодического действия, характерны два режима работы: режим разогрева и стационарный.

*Режим разогрева.* Уравнение теплового баланса электрической фритюрницы для периода разогрева, если в этот период рабочая камера продуктом не загружается, имеет вид

$$Q'_{\text{зат}} = Q'_5 + Q'_6, \quad (1)$$

где  $Q'_{\text{зат}}$  – общая тепловая мощность, подводимая электронагревателями;

$$Q'_{\text{зат}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} J_{\text{л}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение трехфазной цепи, В;  $J_{\text{л}}$  – линейный ток трехфазной цепи, А.  $Q'_5$  – потери теплоты наружными стенками аппарата в окружающую среду за единицу времени, Вт, при этом от ограждений имеет место теплоотдача конвекцией и излучением;

$$Q'_5 = \alpha' F (t_{\text{ст}}^{\text{ср}} - t_{\text{возд}}), \quad (3)$$

где  $F$  – площадь наружных поверхностей фритюрницы,  $\text{м}^2$  (вычисляется по данным прямых замеров);  $t_{\text{возд}}$  – температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{ст}}^{\text{ср}}$  – средняя по поверхности и по времени разогрева температура ограждений фритюрницы,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$t_{\text{ст}}^{\text{ср}} = (t_{\text{ст}}^{\text{нач}} + t_{\text{ст}}^{\text{кон}}) / 2, \quad (4)$$

где  $t_{\text{ст}}^{\text{нач}}$  – начальная температура ограждения,  $^{\circ}\text{C}$ . Если разогрев аппарата производится от холодного состояния, то  $t_{\text{ст}}^{\text{нач}} = t_{\text{возд}}$ ;  $t_{\text{ст}}^{\text{кон}}$  – конечная, средняя по поверхности температура ограждений,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$t_{\text{ст}}^{\text{кон}} = \frac{\sum (t_i^{\text{кон}} F_i)}{\sum F_i}, \quad (5)$$

где  $t_i^{\text{кон}}$  – конечная температура  $i$  – го элемента поверхности ограждений,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $F_i$  – площадь  $i$  – го элемента ограждений,  $\text{м}^2$ .

Если площади участков для измерения одинаковы, т. е.  $F_1 = F_2 = F_3 = \text{const}$ , то в этом случае

$$t_{\text{ст}}^{\text{кон}} = \frac{\sum t_i}{n}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество точек замера,  $\alpha'$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К); суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием можно приближенно определить по следующей формуле (для случая теплоотдачи в закрытых помещениях при температуре ограждений до 150<sup>0</sup>С)

$$\alpha' = 9,7 + 0,07(t_{ст}^{cp} - t_{возд}). \quad (7)$$

где  $Q'_6$  – потери теплоты на разогрев конструкции аппарата. Потери обусловлены необходимостью повышения температуры отдельных элементов конструкции аппарата по отношению к их начальной температуре.

$$Q'_6 = \sum M_i c_i (t_{ki} - t_{ni}) / \tau_p. \quad (8)$$

где  $M_i$  – масса  $i$  – го элемента конструкции (рабочей камеры, наружных стенок, крышки и др.), кг;  $c_i$  – теплоемкость материала  $i$  – го элемента конструкции  $c_i = 482$  Дж/(кг·К) удельная теплоемкость стали.  $t_{ki}$ ,  $t_{ni}$  – соответственно конечная и начальная температуры  $i$  – го элемента конструкции, <sup>0</sup>С;  $\tau_p$  – время разогрева аппарата, с.

Масса отдельных элементов оценивается по результатам прямых замеров геометрических размеров конструктивных элементов

*Стационарный период работы.* Для стационарного режима уравнение теплового баланса записывается в виде

$$Q_{зат} = Q_1 + Q_5, \quad (9)$$

где  $Q_{зат}$  – общая мощность нагревателей (определяется по соотношению 2), Вт;  $Q_1$  – полезная тепловая нагрузка, Вт.

Испытания проводят по методу водяного эквивалента. В рабочую камеру помещают воду, имитирующую пищевой продукт. Полезная тепловая нагрузка рассчитывается по формуле

$$Q_1 = M(H_2O) \cdot c(H_2O) \cdot (t_{H_2O}^{кон} - t_{H_2O}^{нач}) / \tau_{обр}, \quad (10)$$

где  $M(H_2O)$  – масса нагреваемой воды (определяется взвешиванием), кг;  $c(H_2O)$  – теплоемкость воды ( $c(H_2O) = 4187$  Дж/(кг · К));  $t_{H_2O}^{кон}$ ,  $t_{H_2O}^{нач}$  – соответственно конечная и начальная температуры нагреваемой жидкости, <sup>0</sup>С;  $\tau_p$  – время за которое меняется температура, с.

$Q_5$  – потери теплоты стенками аппарата, Вт;

$$Q_5 = \alpha F (t_{ст}^{кон} - t_{ст}^{нач}), \quad (11)$$



$F$  – площадь наружных поверхностей фритюрницы,  $m^2$ ;  $t_{ст}^{кон}$  – средняя по поверхности и по времени разогрева температура,  $^{\circ}C$ ;

$$t_{ст}^{кон} = \frac{\sum (t_i F_i)}{\sum F_i}, \quad (12)$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ :

$$\alpha = 9,7 + 0,07(t_{ст}^{кон} - t_{возд}). \quad (13)$$

Основным показателем работы фритюрницы является наибольший температурный перекус на холостом ходу

$$\Delta t_{max}^{хол} = t_{max} - t_{min}, \quad (14)$$

где  $t_{max}$ ,  $t_{min}$  – соответственно максимальная и минимальная температура фритюра в горячей зоне в момент выхода аппарата на стационарный режим без нагрузки,  $^{\circ}C$ .

Коэффициент полезного действия аппарата вычисляется по соотношению

$$\eta = (Q_1/Q_{зат}) \cdot 100. \quad (15)$$

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с экспериментальным стендом и изучите методику исследования.
2. Проверьте надежность заземления и качество электрических соединений.
3. Измерьте размеры наружных стенок аппарата.
4. Включите тэны фритюрницы.
5. Измерьте мощность электронагревателей, используя показания электроизмерительных приборов (см. формулу 2)
6. Определите время разогрева фритюрницы от начала нагрева до выхода температур на стабильные показатели  $t_i = const$ .
7. Заполнить фритюрницу водой, предварительно определив ее массу.
8. Определить начальную температуру воды и вести нагрев воды.
9. Определить наибольший температурный перекус на холостом ходу (см. формулу 14), для этого замерить температуру воды в горячей и холодной зонах при стационарном режиме.

## Отчет по работе

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная схема устройства рабочей камеры фритюрницы периодического действия.
3. Результаты расчета теплового баланса для режима разогрева.
4. Сравнить левую и правую части уравнения теплового баланса, вычислить невязку. При точном эксперименте она не должна превышать 10%.
5. Результаты расчета составляющих теплового баланса на стационарном режиме работы.
6. Расчет КПД фритюрницы.
7. Расчет перепада температур фритюра в горячей и холодной зонах рабочей камеры.
8. Результаты измерения температур занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

№ п/п	Время эксперимента, с	Температура стенок аппарата, °С				Температура фритюра, °С			
		$t^{ст}_1$	$t^{ст}_2$	$t^{ст}_3$	$t^{ст}_4$	$t^{фр}_1$	$t^{фр}_2$	$t^{фр}_3$	$t^{фр}_4$

9. Выводы.

## Контрольные вопросы

1. Чем отличается уравнение теплового баланса для стационарного и нестационарного режима работы фритюрницы?
2. Какие суммарные потери теплоты в аппарате при нестационарном режиме работы вам известны?
3. Каково назначение холодной зоны во фритюрницах периодического действия?
4. Что подразумевает процесс жарки пищевых продуктов во фритюре?

Уманская Ольга Леонидовна  
Тютрин Сергей Геннадьевич

Технологическое оборудование

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторных работ  
по специальности 260601  
«Машины и аппараты пищевых производств»  
Часть 3

Редактор Н. М. Кокина

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 1,75	Уч.- изд. л. 1,75
Заказ	Тираж	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.